МАТЕРІАЛИ

XVIII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ»

м. Вінниця, 20-22 жовтня 2025 р.

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Державний університет «Житомирська політехніка»
Луцький національний технічний університет
Технічний університет Дрездена (м. Дрезден, Німеччина)
Університет прикладних наук Карлсруе (м. Карлсруе, Німеччина)
Університет Вітовта Великого (м. Каунас, Литва)
Технічний університет ім. Георге Асакі (м. Ясси, Румунія)
Департамент транспорту та міської мобільності Вінницької міської ради

МАТЕРІАЛИ
XVIII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ»

20 – 22 жовтня 2025 року

MATERIALS
XVIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC PRACTICAL CONFERENCE
“MODERN TECHNOLOGIES AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF MOTOR TRANSPORT”

October 20 – 22, 2025

Вінниця, ВНТУ, 2025

УДК 629.3
М34

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Головний редактор **В. В. Біліченко**

Редактори: **В. А. Макаров**
А. А. Кашканов
О. П. Кравченко

Відповідальний за випуск **С. В. Цимбал**

Роботи друкуються в авторській редакції. Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність інформації, яка наведена в роботах, та залишає за собою право не погоджуватися з думками авторів на розглянуті питання.

М34 **Матеріали** XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – (PDF, 536 с.)

ISBN 978-617-8163-71-6 (PDF)

Збірник містить Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції за такими основними напрямками: стратегії та перспективи розвитку автомобільного транспорту та транспортних засобів; сучасні технології на автомобільному транспорті; транспортні системи, логістика, організація і безпека руху; системотехніка і діагностика транспортних машин; стратегії, зміст та нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою в галузі автомобільного транспорту.

УДК 629.3

ISBN 978-617-8163-71-6 (PDF)

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2025

ЗМІСТ
(CONTENTS)

К.Ф. Абрамек, В.О. Балицька, В.О. Колесніков СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙ ВОДНЕВИХ ТА ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	14
Л.С. Абрамова, С.В. Капінус, Г.Г. Птиця МЕТОДОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ	19
В.С. Авер'янов, Д.І. Жарков ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА ДІЛЬНИЦІ МИТТЯ АВТОМОБІЛІВ	23
С.С. Аданніков ПРОБЛЕМАТИКА ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ В УМОВАХ НЕСТАЧІ ВОДІЇВ ТА ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ	26
В.Д. Андрощук, Б.В. Чорний ДО ПИТАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ЗАСАД ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ В ЗОНІ ВПЛИВУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ	28
В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко, О.П. Цьонь, Ю.Я. Вовк, В.О. Дзюра КЛАСТЕРНИЙ ПІДХІД В ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ	31
В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, В.З. Гудь, І.Б. Гевко, А.Б. Гупка УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ КІБЕРФІЗИЧНОГО ПІДХОДУ	39
В.О. Балицька, О.І. Балицький, В.О. Колесніков СТІЙКІСТЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПОЖЕЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ	43
Д.Б. Бегерський, І.В. Вітюк, А.О. Коваль ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДСТАНІ МІЖ КАБІНОЮ ТА НАПІВПРИЧЕПОМ НА АЕРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР МАСШТАБНОЇ МОДЕЛІ АВТОПОЇЗДА	47
О.М. Берчій, В.О. Огневий МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА НА АВТОМОБІЛЯХ	50
П.В. Бех, О.В. Лашков ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ	53
В.В. Біліченко, А.Г. Бруй ІНТЕГРАЦІЯ СУХИХ ПОРТІВ У НАЦІОНАЛЬНУ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНУ СИСТЕМУ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ	55
В.В. Біліченко, Д.М. Матвійчук ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ПАРАМЕТРИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	58
В.В. Біліченко, В.Л. Паламарчук МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ МІСЬКИХ І ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ (НА ПРИКЛАДІ М. ЧЕРКАСИ)	61

В.В. Біліченко, О.В. Цимбал ІНТЕГРОВАНИЙ ПІДХІД ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ СУЧАСНОГО МІСТА	63
В.В. Біліченко, С.В. Цимбал, Ю.Ю. Кукурудзяк РОЗРОБКА ІНТЕРАКТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ	67
Р.В. Бойків, М.Ю. Євчук ОЦІНКА КОНФЛІКТНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА НЕРЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ З ІНТЕНСИВНИМ ВИЇЗДОМ НА ГОЛОВНИЙ НАПРЯМ ЯК ФАКТОР ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНОСТІ	71
К.В. Борак, С.В. Міненко, В.С. Савчук, Д.О. Буката ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ	74
Д.В. Борисюк, О.В. Вдовиченко, А.Є. Винокуров ВПЛИВ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ НА ЯКІСТЬ КОМПЛЕКТУВАННЯ ТА ЗБИРАННЯ ВУЗЛІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ	78
Д.В. Борисюк, О.В. Вдовиченко, В.О. Марисюк ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ	81
Д.В. Борисюк, В.Й. Зелінський, В.М. Білодід ОЦІНКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ	84
Д.В. Борисюк, В.Й. Зелінський, Я.Ю. Кіт ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДИСТАНЦІЙНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ	87
А.В. Боркут, Ю. Е. Рубчевський, В.О. Колесніков СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНСТРУКЦІЯХ АВТОМОБІЛІВ	90
Х. Бруннер, В.А. Макаров, Т.В. Макарова АСПЕКТИ ОЦІНКИ АВАРІЙНОСТІ НА АВТОДОРОГАХ РЕГІОНУ	94
Ю.В. Булік, В.І. Павлюк, В.П. Онищук, Н.Г. Куць ПОЛІПШЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ОБЛАДНАНИХ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ МОДУЛЯМИ	97
В.В. Бурдун, Н.О. Бикадорова, А.Ю. Рожкова, О.О. Ревякіна ДЕЯКІ НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ТА НАВЧАННЯ БАКАЛАВРІВ ТА МАГІСТРІВ У ГАЛУЗІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	100
В.В. Буряк, А.А. Кашканов МОБІЛЬНІСТЬ ТА ЛОГІСТИКА ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНА В УКРАЇНІ: ПРОСТОРОВІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ОПЕРАЦІЙНІ БАР'ЄРИ	106
О.А. Бусилко, С.А. Вахнюк, М.А. Борець ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ З РОЗРОБКОЮ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ	110
О.А. Бусилко, С.А. Вахнюк, В.В. Маковецький УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЗМІННОГО СТРУМУ АПА-5Д ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНІХ ПРИЛАДІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ВИКОНАННІ ЗАВДАНЬ	112

І.В. Віштак, Л.О. Майданевич ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР У СИСТЕМІ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ: СОЦІАЛЬНІ ТА ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ	114
І.В. Віштак, В.С. Мошак ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ	117
І.В. Віштак, Н.Г. Нікітін ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ АВТОТРАНСПОРТУ – ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УКРАЇНІ	120
І.В. Віштак, В.С. Огірчук ВПРОВАДЖЕННЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ СТАНДАРТІВ ДО БЕЗПЕЧНОГО РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ЗВАРЮВАННЯ	123
Т.Й. Войціховська ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РУХОМ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	127
О.А. Воронков, І.Л. Роговський ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ	131
Д.О. Галущак, О.О. Галущак ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ НА СУМІШІ ДИЗЕЛЬНОГО ТА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВ	133
О.О. Галущак, Д.О. Галущак, В.О. Бурченко АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА МІСЬКИХ АВТОБУСІВ	136
М.М. Гнип ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВПОРСКУВАННЯ ФОРСУНОК ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ	139
К.Е. Голенко, М.О. Диха, І.В. Драч, В.О. Дитинюк АДАПТИВНІ ПАСКИ БЕЗПЕКИ З КЕРОВАНИМ МОДУЛЕМ ЖОРСТКОСТІ: НОРМАТИВНІ ВИМОГИ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	142
А.О. Головатий, В.В. Аулін, А.В. Гриньків, С.Г. Ковальов, О.П. Цьонь ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧОЇ ЛОГІСТИКИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЄЮ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ	146
Д.В. Голуб, В.В. Аулін, Р.П. Кічура, О.В. Ювженко РОЗРОБКА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПРОЦЕСОМ АВТОМОБІЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	151
П.Ф. Горбачов, М.В. Прохорчук ОЦІНКА ПРОБЛЕМНИХ АСПЕКТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПРІОРИТЕТУ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ В ЗОНІ ПЕРЕХРЕСТЯ	155
А.Б. Гупка, І.Б. Гевко, Р.Я. Лещук, Г.Б. Цьонь, С.І. Остапчук МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ ПРИ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСАХ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ	158
Т.Р. Дживак ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ ФОРМУВАННІ ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ НА ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХНЯХ ШАТУННИХ ВКЛАДИШІВ	163

В.О. Дзюра, П.О. Марущак, Р.О. Бица МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ПЛОЩИННОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ КАНАВОК РЕГУЛЯРНИХ І ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ	165
В.О. Єлістратов, О.А. Харьков, О.В. Павленко, К.В. Миленький ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СІДЕЛЬНИХ ТЯГАЧІВ КРАЗ З АВТОМАТИЧНОЮ КОРОБКОЮ ПЕРЕДАЧ В ЗСУ	168
М.М. Жук, Є.В. Пруський ВИКОРИСТАННЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОВАНТАЖНИХ ПОТОКІВ	171
М.М. Жук, М.Б. Скиба ОСОБЛИВОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖОПОТОКІВ	174
В.І. Захарчук, В.В. Ярощук ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ДИЗЕЛІВ У ГАЗОВІ ДВИГУНИ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ	176
А.Я. Здобицький, А.В. Головенко ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ПРОТЕКТОРА ШИН НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	179
І.Б. Зінченко МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ДЕФОРМУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ РОТАЦІЙНОГО ВИДУ НА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНЯХ	183
Р.М. Ігнатюк, О.С. Стадник, В.Л. Пахаренко ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМОБІЛЯ	185
Ільченко А.В. ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ВИТРАТ БІОПАЛИВ ДВИГУНОМ АВТОМОБІЛЯ (НА ПРИКЛАДІ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА З ДОМІШКОЮ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ 30%)	189
А.В. Йовченко ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ ОЩАДЛИВОГО ВИРОБНИЦТВА В ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ	191
М.К. Канчуга ПЕРСПЕКТИВИ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ СУЧАСНОЇ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ	194
В.А. Кашканов, О.А. Рудий СУЧАСНИЙ СТАН ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ У МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ	196
В.А. Кашканов, К.І. Томляк АКТУАЛЬНІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	199
А.А. Кашканова ТЕХНОЛОГІЧНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ АУДИТУ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	202
Е.С. Клімов, А.П. Солтус ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВІЗКА ТРИОСЬОВОГО АВТОМОБІЛЯ НА КІНЕМАТИКУ ТА ДИНАМІКУ КОЛІС ПІД ЧАС РУХУ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ ТРАЄКТОРІЇ	207

С.Г. Ковальов, В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, Ю.Г. Ковальов ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ	211
І.В. Ковальчук, І.В. Мамківський ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ ПРИ РОБОТІ ДВИГУНА ЗА ДИЗЕЛЬНИМ І ГАЗОДИЗЕЛЬНИМ ЦИКЛАМИ	215
F. Kozak, V. Melnyk ON SOURCES OF OBTAINING ALTERNATIVE FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES	219
В.О. Колесніков ВОДНЕВИЙ ТРАНСПОРТ ТА ВОДНЕВІ АВТОМОБІЛІ	222
В.О. Колесніков, М.Р. Гаврилюк, О.І. Балицький ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРОДУКТІВ ЗНОШУВАННЯ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ ТА ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННІ	226
Р.В. Колодницька ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ	230
Є.В. Компанієць, І.Г. Лебідь, Н.О. Лужанська ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКСПОРТУ ТОВАРІВ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ	234
М.А. Кондратюк ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ N1	236
А.О. Корпач, О.О. Левківський, О.А. Корпач МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛІВ	240
В.І. Котенко, О.В. Бондарук ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ	244
Д.О. Котов, В.В. Клименко, О.О. Бондаренко, С.М. Тарасенко, Ю.М. Петрик ПРОБЛЕМА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	247
В.М. Краснокутський, М.А. Подригало, В.В. Кав'юк ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЬ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ НА БАЗІ ТРАКТОРНОГО САМОХІДНОГО ШАСІ	250
О.М. Красноштан, Ф. Буреш ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА БЕЗПЕКИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ НА ШЛЯХУ ЙОГО ІНТЕГРАЦІЇ У ЗАЛІЗНИЧНИЙ ПРОСТІР ЄС	254
В.І. Кубіч, О.Г. Чернета ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОДАТЧИКОВОГО МОДУЛЯ STEVAL-MKI062V1 ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ВІБРАЦІЙ СИСТЕМИ «ДВИГУН – КУЗОВ АВТОМОБІЛЯ»	256
В.П. Кужель, О.С. Глодний, Д.О. Гусєв ПОКРАЩЕННЯ КОНКУРЕНТНОГО СЕРЕДОВИЩА ПІДПРИЄМСТВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА РИНКУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	259

В.П. Кужель, В.В. Слободян, Р.Д. Шонік ВИДИ ПРИСАДОК ТА ВАРІАНТИ МОДИФІКАЦІЇ СКЛАДУ АВТОМОБІЛЬНОГО ПАЛИВА	262
Ю.Ю. Кукурудзяк, В.О. Калашніков, А.П. Поліщук ОСОБЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ	265
Д.О. Кульова, В.В. Аулін, О.Є. Рубан ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЧЕНИХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВІ АБСТАКТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ	268
Є.М. Лебідь ОПТИМІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-УПРАВЛІНСЬКИХ ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ВИКОНАННІ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	270
І.Г. Лебідь АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	272
О.М. Лівіцький, В.З. Гудь, О.В. Бевз, С.О. Магопець СИСТЕМНО-АДАПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ РУХУ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ	274
О.Л. Ляшук, Д.В. Міронов, А.П. Луцик МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ПОСЛІДОВНОЮ КОНФІГУРАЦІЄЮ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ	279
Т.В. Макарова, О.О. Степанківська ЛОГІСТИЧНИЙ АСПЕКТ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	283
І.А. Мармут ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛЯ НА ІНЕРЦІЙНОМУ РОЛИКОВОМУ СТЕНДІ	285
М.М. Маяк, І.С. Мурований, А.С. Котенко МАНЕВРЕНІСТЬ ДВОЛАНКОВОГО ПРИЧІПНОГО АВТОБУСНОГО ПОЇЗДА	289
V. Melnyk FEASIBILITY STUDY OF THE EFFICIENCY OF USING BIOGAS FUEL WITH COMMODITY GASOLINE	293
V. Melnyk STUDY OF THE SPECIFIC EFFECTIVE FUEL CONSUMPTION OF THE PEUGEOT 3008 1.5 L BLUEHDI ENGINE IN THE PROCESS OF USING ALCOHOL-BASED FUEL ADDITIVES	296
В.С. Микольченко ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ В УКРАЇНІ	299
М.В. Митко, М.Ю. Бажан, А.Ю. Тихонов СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СПЕЦІАЛЬНОГО АВТОТРАНСПОРТУ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ	302
П.В. Мовчан, В.С. Кравець ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЗОВИХ КОМУНІКАЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ УГЗС.МА-131 ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНЦІЇ	306

М.Л. Москалюк, А.А. Кашканов АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСНИМИ ЧАСТИНАМИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	308
І.С. Мурований, Н.В. Биглюк КОМБІНОВАНА ГІБРИДНА СИЛОВА УСТАНОВКА АВТОМОБІЛЯ: КОНСТРУКЦІЯ, РЕЖИМИ РОБОТИ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ	312
І.С. Мурований, І.О. Бузінський МОДУЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ПЛАТФОРМИ: АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	315
І.С. Мурований, М.В. Васюхник ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ	319
І.С. Мурований, В.С. Мельник АНАЛІЗ РИЗИКІВ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ	323
Т.М. Надич, В.В. Аулін, А.В. Гриньків ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ КІБЕРФІЗИЧНОГО ПІДХОДУ	327
В.М. Никончук, О.О. Жинський ОПТИМІЗАЦІЯ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ТРАНСПОРТНИХ МАГІСТРАЛЯХ МІСТА РІВНЕ	331
Р.Б. Олексієнко, В.О. Огневий МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ МІЖМІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	334
М.С. Оліскевич, Н.Я. Хомин ОПТИМІЗАЦІЯ КІЛЬКОСТІ ВОДІЇВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАДАНОГО ОБСЯГУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	336
В.П. Онищук, С.В. Стельмащук ВПЛИВ НЕРІВНОМІРНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ НА ЗДВОЄНІЙ ОСІ ПРИЧЕПА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЛЬМУВАННЯ МАЛОТОННАЖНОГО АВТОПОЇЗДА	340
В.О. Осипов, В.О. Хоменко ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЮ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ЗА КРИТЕРІЄМ ВПЛИВУ ПІДСИСТЕМИ «СЕРЕДОВИЩЕ»	344
В.М. Павленко, В.М. Павленко КОМПЛЕКСНИЙ МОНІТОРИНГ ТА СЕРВІС ВИСОКОВОЛЬТНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ	347
О.В. Павленко, В.О. Єлістратов, В.В. Фесенко ПОПЕРЕДНІЙ ВИБІР МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА АВТОПОЇЗДА ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ СУЧАСНИХ АНАЛОГІВ	350
О.В. Павленко, В.О. Єлістратов, О.А. Харьков, А.В. Сидоренко КОНЦЕПТУАЛЬНЕ РОЗУМІННЯ РОЛІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В МІСТІ МАЙБУТНЬОГО	353
М.М. Перегуда, В.П. Шумляківський ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ: АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАХИСТУ АКУМУЛЯТОРНИХ БЛОКІВ	356

В.П. Петленко, О.Л. Ляшук, А.В. Гриньків, С.О. Магопець, С.В. Лисенко ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ ВПРОВАДЖЕННЯМ ТЕЛЕМАТИЧНИХ СИСТЕМ	360
М.В. Пікула ВИДАЛЕННЯ ОБЛОЮ НА ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЯХ ПРИ ВІДЦЕНТРОВО-ПЛАНЕТАРНІЙ ОБРОБЦІ	365
У.М. Плекан РИЗИКИ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ У СУЧАСНИХ УМОВАХ: КЛАСИФІКАЦІЯ, ОЦІНКА ТА ШЛЯХИ МІНІМІЗАЦІЇ	368
А.П. Поляков, В.В. Варчук ОЦІНКА ВПЛИВУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ АВТОРИЗОВАНИМИ СТАНЦІЯМИ АВТОСЕРВІСУ НА ЇХ НАДІЙНІСТЬ	370
А.П. Поляков, В.В. Варчук, Л.В. Мороз АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	374
В.І. Порфіренко, А.І. Козаченко КОМУНІКАЦІЙНИЙ ЛОГІСТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПОСТАВОК В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ	380
В.І. Порфіренко, А.С. Кумпан РОЛЬ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	384
В.І. Порфіренко, А.С. Луговцов ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РИНКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ	387
В.І. Порфіренко, Д.В. Неспосудня МІЖНАРОДНИЙ РИНОК АВТОВОЗІВ І РОЛЬ В НЬОМУ УКРАЇНИ	391
T. Postranskyy, N. Tiurdo THE IMPACT OF VEHICLE SPEED IN URBAN CONDITIONS ON THE DRIVER'S FUNCTIONAL STATE	394
О.Д. Почужевський, В.Ю. Федірко ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗАХИСТУ КУЗОВА АВТОМОБІЛЯ ВІД КОРОЗІЇ ТА ІРЖІ	397
Г.С. Прокудін, В.А. Даніва, П.К. Поляк АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В ЛОГІСТИЦІ УКРАЇНИ	401
Г.С. Прокудін, А.П. Назарова, І.І. Прокудіна ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ СТАНІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	405
Г.С. Прокудін, А.Т. Салада, І.А. Мельников НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ТА ВЕЛИКОВАГОВИХ ВАНТАЖІВ	409
І.Б. Прунько, Ф.В. Козак, Ю.О. Курилів ВІДНОВЛЕННЯ ОСІ КОЛОДОК ЗАДНЬОГО ГАЛЬМА АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО НАРОЩУВАННЯ	413
J. Ragulskienė, A. Pauliukas, P. Paškevičius, R. Maskeliūnas, V. Maskeliūnas, V. Kuzhel, L. Ragulskis DYNAMICS OF CIRCULAR ELEMENT OF AGRICULTURAL TRANSPORTATION DEVICE WITH STIFF EXTERNAL CIRCLE	416

О.Ю. Ребров, О.Г. Петренко ПОДВІЙНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ПОНИЖЕНИМ ТИСКОМ НА ГРУНТ ЯК В АГРАРНІЙ ТАК І ВІЙСЬКОВІЙ СФЕРІ	420
І.В. Рогозін, А.О. Родюков, Е.О. Луценко ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИЛ ОБОРОНИ	422
В.В. Рудзінський, С.В. Мельничук, Б.В. Ємець, О.П. Рябчук, І.С. Мельничук ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СВІТЛОФОРАМИ НА ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗКАХ МІСТ	425
О.О. Сасов, К.Д. Хамбіков ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (3D-ДРУКУ) У ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЯ	429
В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.В. Паламарчук ДО ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ ТРИЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ ТИПУ B-TRIEPLE	431
В.О. Семеген ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІДНОСНОЇ ПЛОЩІ ДЕЯКИХ КВАЗІРЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ СФОРМОВАНИХ ВІБРАЦІЙНИМ ОБКОЧУВАННЯМ	435
А.А. Сергійчук, А.В. Гриньків, В.В. Аулін, А.В. Сергійчук КРИТЕРІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РІВНЯ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	438
Є.Б. Сліпенький, В.О. Дорощук 3D-СИМУЛЯЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СЕРЕДОВИЩІ FLEXSIM: ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ	442
С.А. Слободяник, В.Л. Крещенецький, В.О. Огневий АЛГОРИТМ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ВИТРАТИ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ	446
Є.В. Смирнов АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ НАДАННІ АВТОСЕРВІСНИХ ПОСЛУГ	449
О.П. Смирнов, А.О. Борисенко ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ПІДКЛЮЧЕННІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ДО ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ	453
Л.Л. Сніжко АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СЕРВІСНИХ ПРОДУКТІВ В ОПЕРАЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ	455
О.С. Стадник, С.В. Морозюк, В.С. Кушнірук ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛІЗУ МОТОРНОЇ ОЛИВИ	458
О.В. Степанчук, О.С. Чернишова КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТ	460
Л.А. Тарандушка, І.П. Тарандушка РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДІЯЛЬНОСТІ МЕНЕДЖЕРА З ЛОГІСТИКИ	464

В.Є. Титаренко ОСОБЛИВОСТІ ТО І РЕМОНТУ ЗВАРНИХ РАМ З ТРІЩИНАМИ	467
С.Ю. Тищенко, В.В. Аулін, А.В. Гриньків, О.П. Цьонь ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АВТОМОБІЛІВ МАРКИ RENAULT УДОСКОНАЛЕННЯМ ЛОГІСТИЧНОГО СЕРВІСУ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН	468
Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА	473
І.О. Хітров ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА ВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА БЕЗПЕКИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ	475
І.О. Хітров, К. Ю. Мельничук СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗОК В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО РУХУ	478
І.О. Хітров, Є.О. Чайка ВИКЛИКИ ТА РИЗИКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ У ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ	480
С.В. Цимбал, В.С. Глиняний ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	483
С.В. Цимбал, Р.В. Мельник ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ НА ПРИКЛАДІ АТ «FOZZY GROUP»	486
С.В. Цимбал, О.А. Сокур МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПАСАЖИРОМ ЩОДО ВИБОРУ ВИДУ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ	490
С.М. Черненко, О.А. Мурашко АВТОМОБІЛІ НА КОМБІНОВАНОМУ ХОДУ З МОЖЛИВІСТЮ РУХУ ПО ЗАЛІЗНИЧНИМ КОЛІЯМ	493
О.Г. Чернета, М.В. Скороход, Р.О. Буланий, Д.М. Бондюк ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ ДВЗ ІЗ СТАЛІ 50ХФА	497
С.П. Чуйко, О.П. Кравченко, Я.Р. Безверхий АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ПРАЦЕЗДАТНІСТЮ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	500
В.М. Чумак, В.Г. Байцан, Є.В. Манько, В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РЕСУРСОВИЗНАЧАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ МЕТОДОМ АДАПТИВНОГО ПРЕДИКТИВНОГО ІНЖИНІРИНГУ	503
О.А. Чупайленко, А.К. Козлов, Ю.О. Колесник ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ЛОГІСТИЧНИХ СЕРВІСІВ У МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ	508
В.Ф. Шапко, С.М. Черненко МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ З РІЗНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	511

С.М. Шарай, М.П. Рой, В.П. Сахно, В.М. Поляков ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ У ПРОЦЕСАХ ВИКОНАННЯ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	515
В.В. Шевчук, І.В. Бачинська ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБГОНУ	518
І.А. Шльончак ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НЕЙРОМЕРЕЖ ПРИ ПАРКУВАННІ АВТОМОБІЛІВ	522
Д.З. Шматко, М.В. Калістратов РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ ВИКОНАННІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	524
А.М. Шостачук, Б.В. Ємець, О.П. Рябчук ЗОБРАЖЕННЯ ТА ДЕЯКІ ВЛАСТИВОСТІ ГРАФІВ ПЛОСКИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ ІІ КЛАСУ З ДВОМА ВХІДНИМИ ЛАНКАМИ	527
N. Shramenko GREEN LOGISTICS DEVELOPMENT: A DECISION-MAKING MODEL FOR URBAN DELIVERY TECHNOLOGY	531
В.П. Шумляківський, О.О. Багінський, О.А. Левківський, А.Г. Грищук ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОБУСНОГО МАРШРУТУ №19А МІСТА ЖИТОМИР	533

УДК 629.113.004.6:620.1:620.92

К.Ф. Абрамек, В.О. Балицька, В.О. Колесніков

СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙ ВОДНЕВИХ ТА ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Представлено загальний огляд сучасних конструкційних матеріалів, які розробляються, застосовуються та впроваджуються при виробництві водневих та гібридних автомобілів.

Ключові слова: конструкційні матеріали, водневий локомотив, водневий автобус, водневий автомобіль, гібридний автомобіль.

Based on available sources, a general overview of modern structural materials that are developed, used and implemented in the production of hydrogen and hybrid cars is made.

Key words: *structural materials, hydrogen locomotive, bus, vehicles, hybrid car.*

Сучасна транспортна галузь зазнає суттєвих змін, що викликані зниженням вуглецевих викидів і впровадження новітніх технологій. Розвиток виробництва водневих і гібридних транспортних систем стимулює пошук нових рішень у сфері конструкційних матеріалів.

Розвиток водневого транспорту та його інфраструктури перебуває на етапі активної трансформації відповідно до загальноєвропейських угод щодо декарбонізації транспорту та енергетики. За останні роки спостерігається інтенсивне розширення кількості транспортних засобів на водні — міських автобусів з паливними елементами, легкових комерційних моделей. Паралельно формується мережа водневих заправних станцій у ключових транспортних центрах та великих містах (в Польщі - Катовіце, Познань, Варшава, Краків), що забезпечує основу для повноцінної інтеграції таких технологій.

Вказані стартапи підтримуються як приватними інвестиціями (наприклад, ORLEN запускає загальнодоступні водневі заправки [1]), так і державними програмами — зокрема у межах Польської водневої стратегії до 2030 р., яка передбачає створення щонайменше 32 заправок та 800–1000 автобусів на водні [2]. Зокрема: у 2024 році ORLEN відкрив другу водневу станцію у Катовіце [1]. У Познані вже функціонує воднева заправка громадського транспорту [3]. Компанія ORLEN планує подальше розміщення станцій у містах Варшава, Краків, Гдиня [4].

В межах програми «Clean Cities – Hydrogen Mobility in Poland» передбачено будівництво низки заправок у Бєльсько-Бяла, Пілі [5], до 2030 р. Заплановано введення в експлуатацію 111 робочих водневих заправок у Центральній Європі (половина з них — у Польщі) [6].

Зростання числа водневих автобусів, розширення заправної інфраструктури в стратегічних містах і підтримка на державному рівні створює сприятливе середовище для масштабної інтеграції водневих технологій у транспортну систему Польщі.

Підписано угоду про запуск серійного виробництва водневих локомотивів, що призначені для експлуатації на неелектрифікованих ділянках залізниці. Ініціатива реалізується за підтримки Міністерства клімату та довкілля Польщі та Національного фонду охорони довкілля і водного господарства (NFOŚiGW). Грант у розмірі понад 53 млн злотих виграла компанія PESA, яка є розробником першого польського локомотива на водневих паливних елементах (рис. 1) [7].

Прототип, сертифікований у 2023 році проходить експлуатаційні випробування на маршруті Єленя-Ґура – Карпач (Нижня Сілезія). Міністерка клімату та довкілля Польщі Пауліна Хенніг-Клоска наголосила, що близько 37% залізничних ліній у країні залишаються неелектрифікованими, тому впровадження водневих локомотивів є економічно доцільною альтернативою масштабній електрифікації.

Відповідно до умов проєкту, до 2028 року планується виготовити 25 водневих локомотивів, що дозволить суттєво скоротити викиди парникових газів — у середньому на 89 кг CO_2 на день на один локомотив. За словами генерального директора компанії PESA Кшиштофа Здзярського, нові моделі поєднуватимуть водневу енергосистему з буферною батареєю, що зменшить споживання водню та підвищить енергоефективність.

Випробування після маршруту Карпач – Єленя-Ґура буде продовжено на промислових лініях компанії KGHM Polska Miedź, де локомотиви використовуватимуться у вантажних режимах. Цей проєкт є ключовим етапом у реалізації Польської водневої стратегії до 2030 року, яка передбачає розвиток низьковуглецевих технологій транспорту.



Рисунок 1. Водневий локомотив PESA на маршруті до Карпача, зупинка на станції в Лудомниці (фото - Łomnica - Gmina Mysłakowice Facebook) [7].

В Познані перший водневий автобус почав курсувати в серпні 2023 року. Виробник – Solaris (рис. 2) [8].



Рисунок 2. Водневий автобус в Познані. Виробник - Solaris [8].

У транспортних системах з водневим живленням ключову роль відіграють матеріали для паливних елементів, зокрема для біполярних пластин (BP), мембрано-електродних переходів (MEA), та газорозподільних шарів. В огляді [9] наведено сучасні підходи до вибору матеріалів та технологій обробки біполярних пластин, зокрема металевих і композитних варіантів, що мають забезпечувати високу провідність, корозійну стійкість і надійність при тривалій роботі. Автори [10] аналізують способи поверхневих модифікацій металевих пластин (покриття, пасивація) для зменшення корозії й контактного опору.

У статті [11] підсумовуються останні досягнення у введенні нанонаповнювачів (вуглецевих волокон, графену, частинок металів) для підвищення провідності композитів, з одночасним збереженням корозійної стабільності та механічної міцності.

В огляді [12] розглядається прогрес у матеріалах MEA, каталізаторах (ніобій, платина та її сплави), мембранах, газорозподільних шарах та балансі систем (BOP) — з акцентом на те, як матеріальні інновації впливають на довговічність і зниження вартості систем паливних елементів у транспорті.

У гібридних транспортних засобах (електро- або плагін-гібридів) ваговий критерій і енергоефективність диктують потребу в легких матеріалах. У роботі [13] розглядають застосування полімерів, композитних матеріалів, алюмінієвих сплавів та високоміцних сталей для зменшення маси кузова та елементів шасі, що сприяє зменшенню енергоспоживання, збільшенню пробігу і зниженню емісій.

Взаємодія водню з конструкційними матеріалами створює ризик водневої крихкості у застосованих сплавах. У дослідженні [14] пропонується стратегія контролю гетерогенності хімічного складу в мікроструктурі та локальне гальмування розвитку мікротріщин, спричинених воднем, без втрати міцності сплаву.

Отже, сучасні матеріали в водневих транспортних системах — це баланси між корозійною та механічною стійкістю, а в гібридних — між масою й міцністю. Нові підходи — поверхневі нанопокриття, композитні сполуки з нанофазами, мікроструктурне зонування — відкривають шляхи підвищення надійності, ефективності й економічності транспортних систем майбутнього.

Сучасні дослідження у сфері матеріалознавства зосереджені на розробленні матеріалів із підвищеною здатністю до акумулювання водню, що відкриває перспективи для подальшого розвитку водневих енергетичних технологій у транспортному секторі. Ефективність упровадження водневих і гібридних транспортних систем безпосередньо залежить від рівня інновацій у галузі матеріалів [15–23]. Сучасні конструкційні матеріали виконують не лише функцію забезпечення механічної міцності, а й стають ключовим чинником підвищення енергетичної ефективності та зниження екологічного впливу транспортних засобів [24–34].

Список використаних джерел

1. ORLEN’s second hydrogen refuelling station becomes available to general public in Poland // ORLEN. – 23 грудня 2024. – URL: https://www.orlen.pl/en/about-the-company/media/press-releases/current/2024/December-2024/orlens-second-hydrogen-refuelling-station-becomes-available-to-general-public-in-poland

2. Polish Hydrogen Strategy: draft presentation. Європейська комісія. URL: https://energy.ec.europa.eu/document/download/e63cb8ff-2a56-4f0b-98f6-59b4e15cf3f7_en?filename=8_-_polish_hydrogen_strategy_draft_presentation.pdf (дата звернення 5.10.2025).

3. Poland: ORLEN opens a hydrogen station in Poznań / FuelCellsWorks. URL: https://fuelcellsworks.com/news/poland-orlen-opens-a-hydrogen-station-in-poznan-2?utm_source

4. Polish state energy giant ORLEN opens first public hydrogen refuelling station // Notes from Poland. URL: https://notesfrompoland.com/2024/06/29/polish-state-energy-giant-orlen-opens-first-public-hydrogen-refueling-station/

5. ORLEN to build hydrogen refuelling stations in more Polish cities. ORLEN. URL: https://www.orlen.pl/en/about-the-company/media/press-releases/archive/2022/september-2022/ORLEN-to-build-hydrogen-refuelling-stations-in-more-Polish-cities

6. Polish group receives millions to expand hydrogen projects // Power Magazine. URL: https://www.powermag.com/polish-group-receives-millions-to-expand-hydrogen-projects/

7. Віра Касіян. У Польщі запустять у серію водневі локомотиви для неелектрифікованих ліній: фото, відео. URL: https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/u-polshchi-zapustiat-v-seriiu-vodnevi-lokomotyvy-dlia-neelektryfikovanykh-liniy-foto-video

8. Водневі автобуси в Польщі: перспективно, дорого і складно — CFTS. URL: https://cfts.org.ua/articles/vodnevi_avtobusi_v_polschi_perspektivno_dorogo_i_skladno_2031/140906

9. Hafiz Muzammil Irshad, Samaneh Shahgaldi, Comprehensive review of bipolar plates for proton exchange membrane fuel cells with a focus on materials, processing methods and characteristics, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 111, 2025, pp. 462-487, ISSN 0360-3199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2025.02.300

10. Cahyani Windarto, Uttam Kumar Chanda, Ocktaeck Lim. A review of materials and surface processing for bipolar plates in polymer electrolyte membrane fuel cells. International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 92, 2024, pp. 419–433. ISSN 0360-3199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.10.274

11. Wenkai L, Zhiyong X, Haodong Z. Current status of research on composite bipolar plates for proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs): nanofillers and structure optimization. RSC Adv. 2024 Feb 28;14(10):7172-7194. doi: 10.1039/d3ra08054d. PMID: 38419679; PMCID: PMC10900183

12. Mo, S., Du, L., Huang, Z. et al. Recent Advances on PEM Fuel Cells: From Key Materials to Membrane Electrode Assembly. Electrochem. Energy Rev. 6, 28 (2023). https://doi.org/10.1007/s41918-023-00190-w

13. Ćwiek, Janusz, and Łukasz Wierzbicki. "The role of lightweight materials in modern transport vehicles". Diagnostyka 23 no. 4 (2022): 2022405. doi:10.29354/diag/155850

14. Sun, B., Lu, W., Ding, R., Makineni, S. K., Gault, B., Wu, C.-H., Wan, D., Chen, H., Ponge, D., Raabe, D. Chemical heterogeneity enhances hydrogen resistance in high-strength steels. Nature Materials (Condensed Matter > Materials Science). Preprint: arXiv:2308.16048. DOI: 10.1038/s41563-021-01050-y

15. Абрамек К. Ф., Балицький О., Колесніков В. Сучасні конструкційні матеріали в гібридних та водневих автомобілях // Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Полтава, 20–21 березня 2025 р.). Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2025. С. 280–287.

16. Balitskii A. Kompendium wodorowe. H_2 Szczecin. Wodór napędem regionu. Przemysl Chemiczny, 103(1), 2024, s.9-11. https://www.sigma-not.pl/publikacja-146967-h2-szczecin.-wod%C3%B3r-nap%C4%99dem-regionu-przemysl-chemiczny-2024-1.html H2Szczecin scientific and technical conference: Hydrogen as the driving force of the region, November 30, 2022, Szczecin, Poland. https://h2szczecin.pl/

17. Balitskii Alexander. III Ogólnopolska Konferencja „H2Szczecin. Wodór napędem regionu". Przemysl Chemiczny, 104(3), 2025, s.10-13. Balitskii Alexander. III Nationwide scientific and technical conference "H2Szczecin, Hydrogen as the driving force of the region". Przemysl Chemiczny, 104(3), 2025, s.10-13. https://przemyslchemiczny.com/przemysl-chemiczny-3-2025/

18. Osipowicz, T.; Koniuszy, A.; Taustyka, V.; Abramek, K.F.; Mozga, Ł. Evaluation of Ecological Parameters of a Compression Ignition Engine Fueled by Diesel Oil with an Eco Fuel Shot Liquid Catalyst. Catalysts 2023, 13, 1513. https://doi.org/10.3390/catal13121513

19. Wawrzyniec Głębiewski, Tomasz Osipowicz, Karol Franciszek Abramek, Wojciech Lewicki and Dominik Gałdyński, Vol. 2024 (4) "Product Innovations in Hybrid Electric Vehicle Vehicles: Comparative Study of Carbon Dioxide Emissions and Operational Parameters of Selected Passenger Cars" Communications of International Proceedings, Vol. 2024 (4), Article ID 4341024, https://doi.org/10.5171/2024.4341024

20. Osipowicz, T.; Koniuszy, A.; Taustyka, V.; Abramek, K.F.; Mozga, Ł. Evaluation of Ecological Parameters of a Compression Ignition Engine Fueled by Diesel Oil with an Eco Fuel Shot Liquid Catalyst. Catalysts 2023, 13, 1513. https://doi.org/10.3390/catal13121513

21. W. Golebiewski, K. Prajwowski, K. Danilecki, M. Lisowski and K. F. Abramek, "Reducing the Fuel Consumption of an Hybrid Electric Vehicle With the Use of Model Predictive Control-Case Study," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 72, no. 9, pp. 11458-11468, Sept. 2023, https://ieeexplore.ieee.org/document/10102300

22. Karol Franciszek Abramek, Wawrzyniec Gołębiewski, Tomasz Osipowicz, Wojciech Lewicki and Oleh Klyus, Vol. 2023 (6) "Green Transformation of Transport on The Example of Emission Assessment of Carbon Dioxide (CO^2) Emissions in Electric and Combustion Engine Vehicles During Operation" Communications of International. Proceedings, Vol. 2023 (6), Article ID 4238723, https://doi.org/10.5171/2023.4238723

23. Балицький О.І., Колесніков В.О., Іщенко Б.М. Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 23–30.

24. Ставицький О. В., Стадник Л. Г., Колесніков В. О. Концепція автомобіля майбутнього // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 181 - 189.

25. Колеснікова Є. Б., Колесніков В. О. Технологічні тенденції та дизайн в автомобілебудуванні // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. наук.-практ. конф., 14–15 квіт. 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 190–203.

26. Прохорова Т. В., Перчемлі І. Ф., Колесніков В. О. Матеріали та технології в автомобільній промисловості // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали V-ї міжнар. наук.-практ. конф. (13–14 квіт. 2017 р., Вінниця). Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 105–112.

27. Татарінов В.Р., Бердус А.Ю., Кравцов О.В., Колесніков В.О. Сучасні матеріали для автомобілебудування // Матеріали регіональної науково-практичної конференції професійна освіта на Луганщині: теорія та практика 15–17 квітня 2014 року. м. Луганськ. - С. 218 - 223.

28.Рулевська Т. Ф., Єльбакієв Д. Г., Колесніков В. О. Перспективи «водневих» автомобілів // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 168 – 172.

29.Абрамек К. Ф., Балицький О. І., Колесніков В. О. Сучасні конструкційні матеріали в водневих та гібридних транспортних засобах // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15–17 квітня 2025 року: зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 23–28.

30.Колесніков В.О. Впровадження водневих технологій на транспорті та суміжних галузях // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції, 23–25 жовтня 2023 р., м. Вінниця. – Вінниця, 2023. – С. 179–181.

31.Балицький О.І., Колесніков В.О., Еліаш Я. Дослідження руйнування ненаводнених та наводнених сплавів в умовах тертя кочення // Проблеми тертя та зношування № 58, 2012. С. 32–37.

32.Балицький О.І., Еліаш Я., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Мочульський В.М., Гребенюк С.О., Глюзицький О.О. Дослідження матеріалів для розробки гібридних автомобілів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 28-38.

33.Балицький О. І., Душар І. Я., Колесніков В. О., Мельніков С. Д. Водневостійка сталь. Патент 47554 на корисну модель України, МПК C22 C38/50. Заявка № u 2009 08857; Заявлено 25.08.2009. Опубліковано 10.02.2010. Бюл. № 3, 2010. 4 с.

34.Balitskii, A.I.; Kolesnikov, V.O.; Havrilyuk, M.R.; Balitska, V.O.; Ripey, I.V.; Królikowski, M.A.; Pudlo, T.K. Steel Hydrogen-Induced Degradation Diagnostics for Turbo Aggregated Rotor Shaft Repair Technologies. Energies 2025, 18, 4368. https://doi.org/10.3390/en1816436

35.Смирнов Є.В. Перспективи використання гібридних автомобілів на водневих паливних елементах. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн.науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. – 316 - 318.

Абрамек Кароль Франчішек, доктор габілітований (техн. науки), інж., кафедри експлуатації автомобілів, факультету механічної інженерії та мехатроніки, Західнопоморського технологічного університету, м. Щецин, Польща.

Балицька Валентина Олексіївна – к.фіз.-мат.н., доцент кафедри фізики та хімії горіння інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, м. Львів.

Колесніков Валерій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу НН інституту технологій і торгівлі ДЗ "Луганский національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Полтава, м. Лубни, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України, м. Львів.

Abramek Karol Franciszek, *Ph.D., Dr.hab., Engineer, Department of Vehicle Operation, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland.*

Balitska Valentina O. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Combustion Physics and Chemistry, Institute of Fire and Technogenic Safety, Lviv State University of Life Safety, Lviv.

Kolesnikov Valerii O. – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Institute of Technology and Trade, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, Research Scientist at the Department of strength of materials and structures in hydrogen-containing environments, Karpenko Institute of Physics and Mechanics, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv.

УДК 656.11; 681.5.01

Л.С. Абрамова, С.В. Капінус, Г.Г. Птиця

МЕТОДОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

Анотація. При структуризації цілі підвищення ефективності функціонування системи управління дорожнім рухом (СУДР) методами системного аналізу, виділено чотири рівня цілей, до складу яких входять 15 часткових цілей. Побудоване в результаті структуризації дерево цілей дозволило сформувати систему підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: *дорожній рух, дерево цілей, система підтримки прийняття рішень.*

Summary. When structuring the aim of improving the efficiency of the traffic management system (TMS) using systems analysis methods, four aim levels were identified, comprising a total of fifteen specific objectives. The tree of aim constructed as a result of this structuring made it possible to develop a decision support system.

Keywords: *traffic, tree of aim, decision support system.*

Для управління дорожнім рухом (ДР) у містах, перевагу має комплексна система управління, що передбачає визначення режимів руху, параметри яких визначаються на рівні прийняття рішень. Тому перспективним напрямком підвищення ефективності управління дорожнім рухом у містах є наявність у сучасних системах управління засобів прийняття рішень, що обумовлює актуальність дослідження.

Для дослідження шляхів підвищення ефективності систем управління дорожнім рухом (СУДР) було проведено формалізацію структури та функцій системи засобами системного аналізу [1-3].

З урахуванням того, що метою застосування системного аналізу до конкретної проблеми є підвищення ступеня обґрунтованості прийнятого рішення [4], у всіх задачах вибору необхідно визначити найкращий в заданих умовах, тобто оптимальний варіант за критерієм "ефективність-вартість" або "вартість-ефективність" при відповідних обмеженнях.

Найважливіші принципи системного аналізу полягають в наступному: 1) процес прийняття рішень повинен починатися з виявлення і чіткого формулювання кінцевих цілей, а також критеріїв, за якими може оцінюватися їх досягнення; 2) необхідно розглядати всю проблему як ціле, тобто як єдину систему і виявляти всі наслідки і взаємозв'язки кожного приватного рішення; 3) виявлення і аналіз можливих альтернативних шляхів досягнення мети; 4) цілі окремих підсистем не повинні вступати в конфлікт з цілями всієї системи [2].

Головною процедурою в системному аналізі є побудова узагальненої моделі (або моделей), що відображає фактори і взаємозв'язки реальної ситуації, які можуть проявитися у процесі здійснення рішення. Отримана модель досліджується для з'ясування того, наскільки близький результат застосування будь-якого альтернативного варіанту до бажаного, які порівняльні витрати ресурсів і часу по кожному з варіантів, яка ступінь чутливості моделі до різних небажаних зовнішніх впливів [3].

З позицій системного аналізу при розгляді СУДР необхідно враховувати всю сукупність зовнішніх факторів, що визначають зв'язок об'єкта з зовнішнім середовищем та іншими системами.

Дерево цілей СУДР було побудовано за правилом: кожна система містить ряд підсистем, які, у свою чергу, можуть бути розбиті на більш дрібні підсистеми, а кожній підсистемі відповідає своя ціль. Сукупність таких цілей утворює ієрархію цілей (дерево цілей).

Дерево цілей являє собою граф, вершини якого інтерпретовані як цілі, а ребра – як зв'язки між цілями. При цьому в поняття цілей на різних рівнях вкладається різний зміст: від об'єктивних потреб і бажаних напрямів розвитку на верхньому рівні дерева до вирішення завдань і здійснення окремих заходів на нижніх рівнях. Основною вимогою до побудови дерева цілей є відсутність циклів (рисунок 1).



Рисунок 1 – Принципова схема дерева цілей

Методологія побудови дерева цілей полягає в тому, що в разі, коли загальну ціль системи не вдається зв'язати з засобами досягнення, потрібно розбити її на більш дрібні цілі, які забезпечують вирішення задачі. При цьому повинні бути виконані дві формальні вимоги – повнота і несуперечність. Несуперечність дерева цілей означає, що досягнення однієї з пари цілей передбачає досягнення іншої, і навпаки. Виконання цієї вимоги означає відсутність циклів на дереві цілей [4, 5].

Опис кожної цілі в дереві має досить повно розкрити її зміст та встановлювати ступінь або факт її досягнення. У дереві цілей не можуть бути ізольовані цілі, тобто цілі, не пов'язані ні з якими іншими.

В остаточному варіанті дерева цілей кожна ціль характеризується деяким кодовим позначенням, що вказує на її зв'язок з цілями більш високого рівня. Наприклад, позначення 2.1 означає, що ціль 1 другого рівня пов'язана з ціллю 2 першого рівня, досягнення якої необхідно для виконання цілі нульового рівня (рисунок 1). А позначення *n* – вказує на кількість цілей.

Нульовий рівень дерева цілей включає одну, головну ціль, яка ставиться в самому загальному вигляді і, в кінцевому рахунку, є всього лише заголовком, позначенням для всього дерева цілей. Цілі всіх наступних рівнів відрізняються один від одного якісно, мають різний зміст. Цілі верхніх рівнів більш або менш стійкі і постійні в часі (їх іноді називають стратегічними цілями). Цілі середніх рівнів (часто звані тактичними) схильні до великої динаміки.

При побудові «дерева цілей» було включено наступні основні етапи [3, 4]:

1. Формулювання генеральної цілі, тобто деякого бажаного стану системи.

2. Формування переліку підцілей, що забезпечують генеральну – здійснюється на основі аналізу вихідної проблеми, а також експертним шляхом.

3. Упорядкування цілей, тобто побудова дерева цілей здійснюється експертним шляхом.

4. Визначення критеріїв досягнення цілей.

5. Встановлення коефіцієнтів відносної важливості цілей. При цьому було визначено «внесок» елементів дерева в реалізацію генеральної цілі, з точки зору обраного критерію.

При побудові «дерева цілей» керувалися наступними правилами [3, 4]:

- кожна сформульована ціль повинна мати засоби і ресурси для її забезпечення;
- при декомпозиції цілей повинна дотримуватися умова повноти редукції, тобто кількість підцілей кожної цілі має бути достатнім для її досягнення;
- декомпозиція кожної цілі на підцілі здійснюється за однією обраною класифікаційною ознакою;
- розвиток окремих гілок дерева може закінчуватися на різних рівнях системи;
- вершини верхнього рівня системи являють собою цілі для вершин нижчих рівнів;
- розвиток «дерева цілей» продовжуємо до тих пір, доки не будемо мати в розпорядженні всі засоби для досягнення вищої цілі.

Дерево цілей спрямоване на досягнення ефективності інформаційного забезпечення процесів управління, тобто процесу розроблення, прийняття та контролю реалізації управлінських рішень.

Відомо [6], що управління ДР базується на основі переробки інформації про умови руху та видачі керуючої інформації. Цей процес забезпечується при взаємодії технічних та нетехнічних елементів СУДР. При побудові дерева цілей для СУДР (рисунок 2), генеральну ціль (рівень 0)

визначили як підвищення ефективності СУДР. Тоді на рівні стратегічних цілей (рівень 1) для забезпечення генеральної цілі необхідно: досягти підвищення ефективності технічних елементів системи та підвищення ефективності нетехнічних елементів системи.

В свою чергу для підвищення ефективності технічних та нетехнічних елементів СУДР на другому рівні при проведенні моніторингу ДР та забезпеченні ситуаційного контролю за об'єктом управління (ОУ), необхідно здійснити вибір оптимального керуючого впливу на ОУ та забезпечити управління ДР. Третій рівень дерева цілей визначено наступною сукупністю цілей: при аналізі ситуації на вулично-дорожній мережі (ВДМ) та аналізі критеріїв ефективності забезпечити збір і зберігання інформації від ОУ та відображення керуючого впливу. На четвертому рівні при вимірюванні параметрів ДР у реальному часі для системи необхідно визначити тип ситуації на ВДМ і критерії ефективності ДР для формування керуючого впливу.



Рисунок 2 – Дерево цілей СУДР

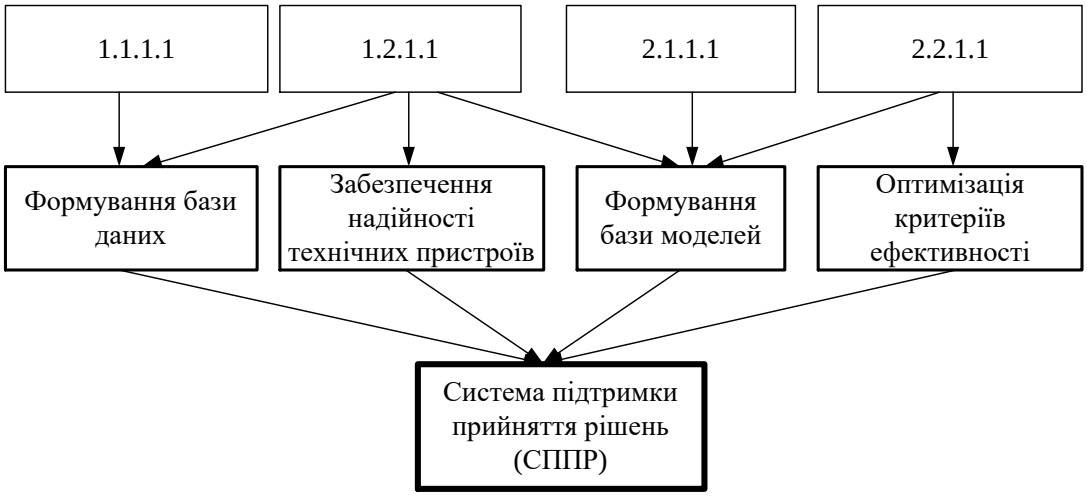


Рисунок 3 – Структура системи підтримки прийняття рішень

Побудова дерева цілей надає можливість визначення задач дослідження для досягнення генеральної цілі (рівень 0), рисунок 3, які були визначені наступним чином: сформувати базу даних, забезпечити надійність технічних пристроїв, сформувати базу моделей та провести оптимізацію критеріїв ефективності. Вирішення наведених задач у сукупності із розробкою програмної підсистеми управління дозволило сформувати систему підтримки прийняття рішень (СППР).

Проблема вибору математичного апарату СППР СУДР обумовлена складністю процесу руху транспорту на ВДМ міста, оскільки пошук рішень в процесі управління ДР ґрунтується на багатовимірній цілі, при цьому цілі можуть конкурувати між собою. Зазначена особливість впливає на вибір математичного апарату.

В результаті побудови дерева цілей були структуровані цілі в СУДР для підвищення її ефективності та були визначені елементи СППР, а саме: бази даних параметрів ДР, бази моделей взаємозалежності параметрів ТП та ВДМ та база критеріїв ефективності ДР при наявності різних цілей СУДР.

Список використаних джерел

1. Туленков М.В. Теорія систем і системний аналіз у соціології: підручник. Київ: Каравелла, 2020. 596 с

2. Величко О.М., Гордієнко Т.Б. Основи системного аналізу і прийняття оптимальних рішень: підручник. Одеса: Олді+, 2021. 672 с.

3. Катренко А.В., Пасічник В.В. Системний аналіз: підручник. Львів: Новий Світ, 2023. 396 с.

4. Сурмін Ю.П. Теорія систем і системний аналіз: навчальний посібник. Київ: МАУП, 2003. 368 с.

5. Одрін В. М., Картавов С. С. Морфологічний аналіз систем. Побудова морфологічних таблиць. Київ: «Наукова думка», 1977. 148 с.

6. Інтелектуальні транспортні системи залізничного транспорту (основи інноваційних технологій): посібник / В. В. Скалозуб та ін. Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т зал. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. 207 с.

Абрамова Людмила Сергіївна – д.т.н., доцент, професор кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, e-mail: abramova_ls@ukr.net;

Капінус Сергій Васильович – к.т.н., доцент, доцент кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, e-mail: skapinus13@ukr.net;

Птиця Генадій Григорович – к.т.н., доцент, доцент кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, e-mail: gennadij.ptitsa@gmail.com;

Abramova Liudmyla S. – Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: abramova_ls@ukr.net;

Kapinus Serhii V. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: skapinus13@ukr.net;

Ptytsia Hennadii H. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: gennadij.ptitsa@gmail.com.

УДК 628.32

В.С. Авер'янов, Д.І. Жарков

ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА ДІЛЬНИЦІ МИТТЯ АВТОМОБІЛІВ

Розроблена компонувальна схема очищення рідини на дільниці миття легкових автомобілів, яка дає змогу очищати водні технологічні середовища від механічних домішок і масел. При цьому забезпечується їх повторне використання в процесі миття автомобілів, що значно знизить екологічне навантаження на навколишнє середовище.

Ключові слова: *мийка автомобілів, стічні води, очищення, забруднення.*

A layout scheme for cleaning liquids at a car wash has been developed, which allows cleaning aqueous technological media from mechanical impurities and oils. At the same time, their reuse in the car wash process is ensured, which will significantly reduce the environmental load on the environment.

Keywords: *car wash, wastewater, cleaning, pollution.*

Для очищення рідин від механічних домішок застосовуються такі способи очищення, як: гравітаційне та відцентрове очищення (відстоювання, центрифуги, гідроциклони), флотація, фільтрування. Найефективнішим способом очищення рідин від механічних домішок є фільтрування, яке забезпечує ступінь очищення до 95 - 98%, тонкість очищення залежить від пористості фільтрувального матеріалу.

Створення безперервно діючих простих по конструкції очисних установок, які зменшують споживання ресурсів та екологічне навантаження на навколишнє середовище, є актуальним завданням.

Близько 90% станцій миття автомобілів скидають у міську каналізацію промивну воду після локальної очистки, і лише близько 10% мийок застосовують замкнуті системи оборотного водопостачання. Стічні води містять крихту асфальту, пісок, моторні масла, різні види палива, солі важких металів, а також поверхнево-активні речовини (ПАР), що містяться в миючих засобах, що використовуються при миття [1].

Як відомо з усіх забруднювачів, що утворюються при обслуговуванні та миття транспорту, найбільш небезпечними при забрудненні стічних вод є механічні домішки і нафтопродукти. У середньому на одиницю рухомого складу середньостатистичного автотранспортного підприємства припадає до 100 кг скидів у поверхневі водойми на рік, у тому числі сухий залишок – 76 кг, хлориди – 17 кг, суспензії –1 кг, сульфати – 4 кг та інші речовини – 2 кг [2].

Наявність різних видів домішок викликає необхідність застосування різних способів та обладнання для очищення в залежності від вимог до очищеної води та її подальшого використання (утилізації). Більшість існуючих систем конструктивно включають три основні стадії очищення - первинну (попередню), фінішну і глибоку. Найбільш широко використовувані у своїй пристрої – відстійники, фільтри, флотатори, відцентрові розділювачі. Однак, незважаючи на широку пропозицію, прийнятне для конкретного користувача поєднання якості та собівартості очищення досягається не завжди. Значні експлуатаційні витрати (зокрема, витрати на витратні матеріали) у поєднанні з високою вартістю установок знижують економічну ефективність їх використання.

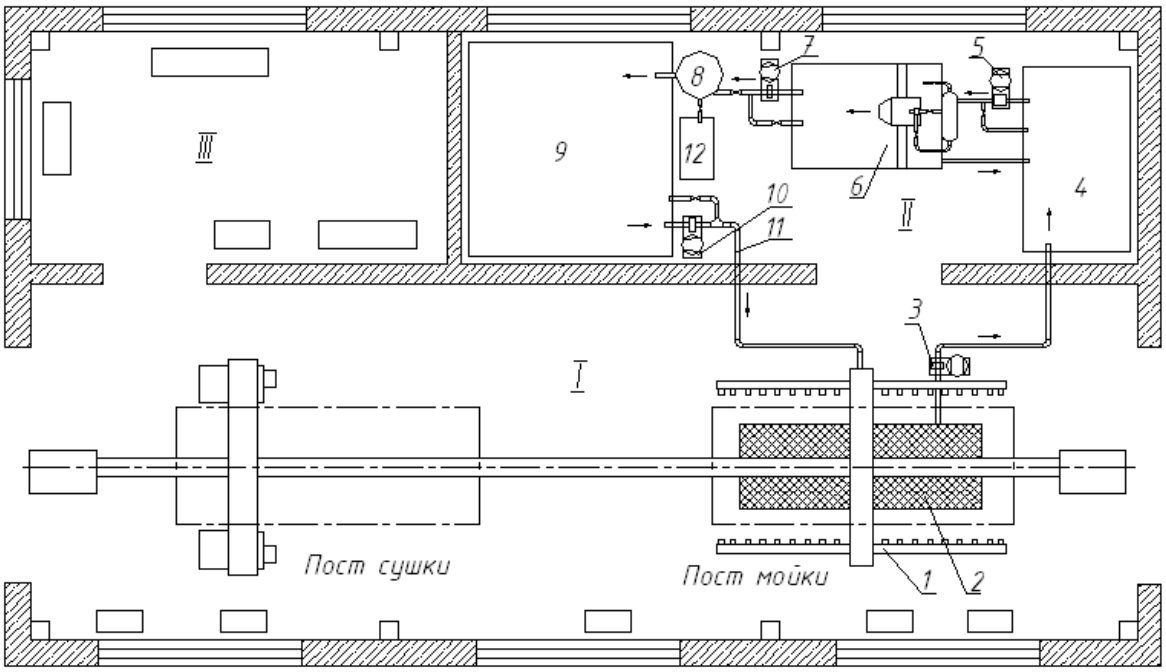
Існуючі системи очищення залежно від технологій, що у них застосовуються, здатні видалити зі стічних вод до 90 % і більше загальної кількості забруднень. Такий ступінь очищення дозволяє не тільки зливати оброблену воду в міську каналізацію (локальне очищення), але й використовувати її повторно за рахунок рециркуляції в системі оборотного постачання автомобільних мийок. Крім екологічного ефекту при цьому значно скорочуються фінансові витрати на водоспоживання та водовідведення.

Таким чином, основним завданням є розробка очисних установок спрощеної конструкції, які повинні бути легко виготовляються, безперервно діючі та ефективні при експлуатації водних технологічних середовищ.

Для вирішення вищевикладених завдань була розроблена компонувальна схема очищення рідини на ділянці миття автомобілів (рис. 1).

Запропонована схема очищення рідини на посту миття автомобілів працює наступним чином.

Рідина після миття автомобілів стікає в приямок, де за допомогою металевих грат 2 очищається від великих механічних домішок. Насос 3 подає забруднену рідину з приямка первинний відстійник 4. Звідки потім насосом 5 подається на безкамерну фільтрувальну установку 6 для очищення рідини від механічних домішок. Рідина, проходячи через фільтрувальну перегородку, очищається і потрапляє у відділення для збору очищеної рідини, звідки насосом 7 подається на масловідділювач 8 для очищення рідини від масла. З масловідділювача очищена технічна вода подається в резервуар 9. Технічну воду подають на пост миття автомобілів за допомогою насоса 10 по трубопроводу 11 або на додаткове очищення для використання водних середовищ в інших цілях. Рідина, яка не пройшла очищення через фільтрувальну перегородку, скидається у відділення для збору забрудненої рідини, звідки надходить у первинний відстійник 4. Відокремлену олію та нафтопродукти зливають у ємність 12.



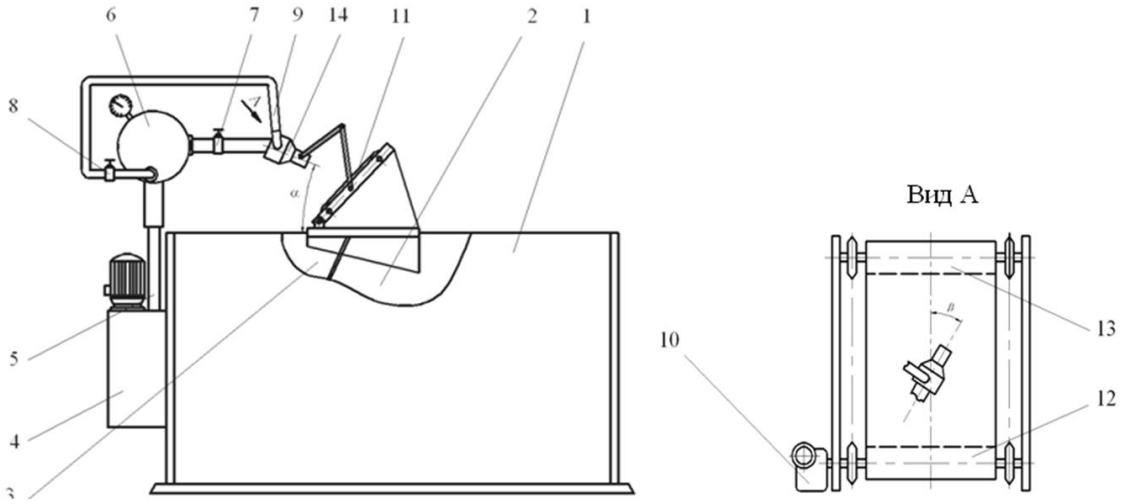
I – лінія миття легкових автомобілів; II – приміщення очищення та регенерації водних середовищ; III – комора; 1 – мийна установка; 2 – металеві грати; 3, 5, 7, 10 – насос; 4 – первинний відстійник; 6 - безкамерна фільтрувальна установка; 8 - масловідділювач безперервної дії; 9 – резервуар для збирання очищеної технічної води; 11 – трубопроводи; 12 – ємність для збирання олії та нафтопродуктів.

Рисунок 1 – Компонувальна схема очищення рідини на дільниці миття легкових автомобілів

Основним обладнанням системи є безкамерна фільтрувальна установка та масловідділювач безперервної дії. Фільтрування використовується для очищення стічних вод від механічних домішок [3]. Застосування різноманітного матеріалу фільтрувального полотна у вигляді нескінченної стрічки, робить безкамерну фільтрувальну установку безперервно діючої та ефективної в процесі її експлуатації. Масловідділювач безперервної дії використовується для очищення рідин від мастил і масляних похідних [4]. На відміну від стандартного обладнання має просту конструкцію і більшу продуктивність.

Фільтрувальна установка (рис. 2) працює таким чином. Рідина насосом 4 трубопроводом 5 подається в ресивер 6. Ресивер необхідний для вирівнювання тиску в системі. З ресивера 6 через вентиль 7 і форсунку 10, через вентиль 8 і тангенціально врізаний патрубок 9 рідина подається на фільтрувальне полотно 11. У процесі фільтрування рідина, проходячи через фільтр,

очищається від механічних домішок автомобілів). Решта об'єму рідини зливається в камеру 3 для прийому рідини на додаткове очищення.



1 – корпус; 2 – камера прийому очищеної рідини; 3 - камера для прийому рідини на додаткове очищення; 4 – насос; 5 – трубопровід; 6 – ресивер; 7 та 8 – вентиль; 9 - тангенційно врізаний патрубок; 10 – форсунка; 11 - фільтрувальне полотно; 12 – мотор-редуктор; 12 і 13 – провідний та ведений барабани.

Рисунок 2 – Безкамерна фільтрувальна установка

За допомогою даної схеми рекомендується очищати водні технологічні середовища від механічних домішок і масел. При цьому забезпечується їх повторне використання в процесі миття автомобілів, що значно знизить екологічне навантаження на навколишнє середовище.

Список використаних джерел

1. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. К.: Знання-Прес, 2013. 511 с.

2. Марков О. Д. Організація автосервісу. Львів: Оріяна – нова, 2008. 233 с.

3. Патент на корисну модель 39634 Україна, МПК B 01 D 33/00. Установка для фільтрування рідини. Олійник Л.О., Авер'янов В.С., Коробочка О.М.; заявник і патентовласник Дніпродзержинський державний технічний університет. №200809557; заяв. 21.07.2008; публ. 10.03.2009 р., Бюл. №5.

4. Патент на корисну модель 54194 Україна. Масловіддільник безперервної дії. Солод В.Ю., Кобелєва О.М.; заявник і патентовласник Дніпродзержинський державний технічний університет, публ. 25.10.2010 р., Бюл. №6.

Авер'янов Володимир Сергійович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, e-mail: averynov@ukr.net.

Жарков Денис Ігорович **–** бакалавр кафедри автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, e-mail: den.zharkov1103@gmail.com.

Averyanov Volodymyr **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems, Dnipro State Technical University, Kamianske, e-mail: averynov@ukr.net.

Zharkov Denis **–** bachelor of the Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems, Dnipro State Technical University, Kamianske, e-mail: den.zharkov1103@gmail.com.

УДК 621.317

С.С. Аданніков

ПРОБЛЕМАТИКА ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ В УМОВАХ НЕСТАЧІ ВОДІЇВ ТА ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

Розглянуто проблеми вантажних перевезень в Україні в умовах нестачі водіїв та військового стану. Запропоновано моделі вирішення нестачі кваліфікованих кадрів.

Ключові слова: *вантажні перевезення, логістика, нестача водіїв, воєнний стан, транспортна інфраструктура, кадровий дефіцит.*

The problems of freight transportation in Ukraine in the conditions of a shortage of drivers and martial law are considered. Models for solving the shortage of qualified personnel are proposed.

Keywords: *freight transportation, logistics, shortage of drivers, martial law, transport infrastructure, personnel shortage.*

Повномасштабне вторгнення суттєво вплинуло на стабільність і ефективність вантажних перевезень в Україні. Логістична галузь опинилася перед низкою системних викликів, серед яких ключовим є дефіцит кваліфікованих водіїв. Значна частина кадрового потенціалу була мобілізована або виїхала за кордон, що спричинило скорочення доступного трудового ресурсу. Одночасно зростання обсягів внутрішніх та міжнародних перевезень, пов'язане з переміщенням гуманітарних вантажів, військових ресурсів та критично важливих товарів, призвело до дисбалансу між попитом і пропозицією транспортних послуг.

Проблему ускладнює зміна логістичних маршрутів через пошкоджену інфраструктуру, обмеження руху та підвищені ризики безпеки. Це спричиняє затримки у доставках, зростання собівартості перевезень та зниження конкурентоспроможності українських перевізників на міжнародному ринку. Водночас активізувався відтік водіїв до країн ЄС, де умови праці та оплати є значно кращими.

Отже, розглянемо декілька алгоритмів, які можуть стати ефективними механізмами стимулювання залучення водіїв, модернізації логістики та адаптації галузі до військового стану.

1. Стимулюючі програми для залучення та підготовки водіїв.
   1.1. Державне фінансування або компенсація навчання у автошколах для осіб, які бажають отримати категорії С, СЕ — зокрема для ветеранів, переселенців та безробітних.
   1.2. Пільгові кредити або гранти для осіб, які після навчання готові працювати у транспортних компаніях не менше визначеного терміну.
   1.3. Підвищення привабливості професії — покращення соціальних гарантій, страхування, медичних пакетів та умов праці.
   1.4. Програми співпраці з ЄС — навчальні курси, які дають змогу водіям легально працювати і в Україні, і за кордоном, залишаючись у складі українських компаній (модель «трудового резерву»).
2. Модернізація транспортної інфраструктури.
   2.1. Пріоритетний ремонт та розвиток логістичних коридорів (особливо на західному напрямку до кордонів з ЄС) для скорочення часу доставки вантажів. Для прикладу: розвиток «логістичних хабів» у Львівській, Волинській, Закарпатській областях.
   2.2. Створення тимчасових мобільних терміналів і перевантажувальних зон, щоб зменшити затори на прикордонних переходах.
   2.3. Інтеграція залізничного та автомобільного транспорту, щоб знизити навантаження на водіїв та автомобільні маршрути.
3. Цифровізація логістичних процесів.
   3.1. Впровадження електронних товарно-транспортних накладних через е-ТТН для зменшення бюрократії та пришвидшення обміну інформацією.
   3.2. Системи онлайн-моніторингу та трекінгу вантажів, що дозволяють оперативно змінювати маршрути у випадку обстрілів, блокпостів чи заторів.
   3.3. Платформи автоматичного бронювання транспорту — цифрові біржі перевезень, які зменшують їздки без вантажу і підвищують ефективність роботи автопарку.

4. Гнучкі механізми адаптації галузі до воєнних умов.
   4.1. Створення резервних мобільних логістичних маршрутів, які можна швидко активувати при руйнуванні інфраструктури.
   4.2. Пільгові податкові умови та компенсації для перевізників, які здійснюють критично важливі перевезення.
   4.3. Легалізація спрощених процедур перетину кордону для вантажів стратегічного значення.
   4.4. Програми психологічної підтримки та безпеки водіїв — курси дій у надзвичайних ситуаціях, страхування життя та здоров'я.

Для подолання кризи необхідне комплексне державне та приватне реагування: розробка стимулюючих програм для залучення і підготовки водіїв, модернізація транспортної інфраструктури, цифровізація логістичних процесів та створення гнучких механізмів адаптації галузі до воєнних умов. Ефективне вирішення проблеми кадрового дефіциту стане одним із ключових чинників відновлення економіки України та забезпечення безперервності ланцюгів постачання.

Список використаних джерел

1. Угода між Україною та Європейським Союзом про вантажні перевезення автомобільним транспортом № 654/2022 від 16.09.2022 [Електронний ресурс].

2. Кужель В. П. Перспективи розвитку вантажних перевезень в Україні в умовах сьогодення / В.П. Кужель, С.П. Куліш, Д.С. Литвинчук, М.С. Пашенько // Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. –Вінниця: ВНТУ, 2023. –С. 198-202. ISBN 978-966-641-950-0.

Аданніков Сергій Сергійович — асистент кафедри автомобілі та транспортний менеджмент, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: serhii1997adannikov@gmail.com

Adannikov Serhii S. — assistant of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : serhii1997adannikov@gmail.com

УДК 628.44

В.Д. Андрощук, Б.В. Чорний

ДО ПИТАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ЗАСАД ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ В ЗОНІ ВПЛИВУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

Розглянуто доцільність застосування концептуальних аспектів забезпечення екологічних автомобільних перевезень в зоні сільськогосподарської місцевості. Запропоновано сукупність показників для оцінки ефективності функціонування транспортної системи в зоні впливу автомобільної дороги.

Ключові слова: *автомобільна дорога, рух автомобілів, сільська місцевість, охорона довкілля, концепція наукового дослідження.*

The feasibility of applying conceptual aspects of ensuring ecological road transportation in the agricultural area was considered. A set of indicators was proposed to assess the efficiency of the transport system in the area of influence of the road.

Keywords: *highway, car traffic, countryside, environmental protection, scientific research concept.*

Проблема екологічних автомобільних перевезень у сільських районах полягає у значному негативному впливі транспорту на навколишнє середовище [1]. Автомобілі спричиняють великі викиди шкідливих речовин, що забруднюють повітря, ґрунти та впливають на якість урожаю [2]. Сільські перевізники часто не мають доступу до сучасного екологічного транспорту через його високу ціну та відсутність відповідної інфраструктури. Крім того, у сільській місцевості бракує технічних центрів, здатних обслуговувати енергоощадні транспортні засоби. Недостатня підтримка держави у сфері «зелених» перевезень уповільнює розвиток екологічного транспорту. Тому важливо впроваджувати концептуальні заходи для зниження рівня забруднення та переходу до сталих видів перевезень у сільській місцевості.

Необхідність розроблення концепції охорони довкілля в зоні впливу автомобільних доріг зумовлена посиленням екологічного навантаження від транспорту [3]. Постійний рух автотранспорту призводить до накопичення токсичних речовин у повітрі, ґрунтах і водних об’єктах, що негативно впливає на природу та здоров’я людей. Відсутність узгодженої системи спостереження і запобіжних заходів спричиняє подальше погіршення стану довкілля. Створення екологічної концепції дозволить ефективно регулювати рівень забруднення та здійснювати відновлення пошкоджених територій. Такий підхід сприятиме розвитку транспортної інфраструктури з дотриманням принципів екологічної безпеки та сталого розвитку. Концепція наукового дослідження – це система початкових теоретичних та методичних положень, а також сукупність інформаційних джерел, які є основою для подальшого пошуку, перевірки та розвитку гіпотези [4]. На рисунку 1 представлено концептуальні аспекти екологічних автомобільних перевезень у зоні сільськогосподарської місцевості, які відображають комплексний підхід до формування стійкої транспортної системи з урахуванням екологічних вимог. Метою є створення мобільного та ефективного функціонування автомобільних перевезень у сільських регіонах із забезпеченням збереження екологічної рівноваги навколишнього середовища.

У структурі концепції виокремлено три взаємопов’язані блоки:

1. Інструменти для реалізації, що включають формування знань щодо ефективності перевезень, обґрунтування логістичних підходів, застосування системного аналізу, розгляд теоретичних аспектів екологічних перевезень та організацію моніторингу екологічного стану.

2. Механізм обґрунтування доцільності, який базується на використанні інформаційних джерел, стратегічних документів, національних екологічних програм та структурі системи енергозбереження.

3. Критерії ефективності досягнення мети, серед яких визначено економічну окупність проєкту, наявність вигід для перевізників, а також соціальну та господарську користь для регіону.



Рисунок 1 – Концептуальні аспекти екологічних автомобільних перевезень в зоні сільськогосподарської місцевості

Першим інструментом для реалізації мобільних перевезень є визначення показників ефективності системи, а саме: паливної ефективності транспортних засобів (визначає наскільки раціонально використовується паливо під час перевезень), економічної ефективності перевезень (демонструє рівень прибутковості та фінансову результативність транспортних операцій), показник енергоефективності (показує частку корисної енергії, що йде безпосередньо на виконання транспортної роботи), екологічна ефективність (визначає, скільки транспортної роботи виконується на одиницю шкідливих викидів).

Паливна ефективність транспортних засобів

$$E_f = \frac{Q}{P}, \text{ ткм/л},$$

де Q – обсяг перевезень, ткм; P – витрата палива, л.

Економічна ефективність перевезень

$$E_e = \frac{(R-C)}{C} \cdot 100\%,$$

де R – дохід від перевезень, грн.; C – витрати на виконання перевезень, грн.

Показник енергоефективності

$$E_{ен} = \frac{W_{кор}}{W_{спож}},$$

де $W_{кор}$ – корисна енергія, витрачена на перевезення, МДж; $W_{спож}$ – загальна спожита енергія, МДж.

Екологічна ефективність

$$E_{екол} = \frac{Q}{E},\ т{\cdot}км/г\ CO_2$$

де E – обсяг викидів шкідливих речовин, г CO_2.

Комплексний інтегральний показник ефективності

$$E_{інт} = (\alpha_1 \cdot E_f) + (\alpha_2 \cdot E_e) + (\alpha_3 \cdot E_{ен}) + (\alpha_4 \cdot E_{екол}),$$

де α_1, α_2, α_3, α_4 – вагові коефіцієнти, що визначають пріоритетність кожного показника.

Отже, поглиблення знань щодо цих параметрів дає можливість комплексно оцінювати ефективність автомобільних перевезень у сільському господарстві, сприяючи підвищенню їхньої екологічності, енергоощадності та економічної результативності.

Реалізація запропонованих інструментів і механізмів дозволить зменшити негативний вплив транспорту на довкілля та покращити екологічну ситуацію в аграрних регіонах. Впровадження системи моніторингу викидів і контролю стану навколишнього середовища сприятиме своєчасному реагуванню на екологічні ризики. Розроблення економічно обґрунтованих заходів підвищить ефективність використання транспортних ресурсів і знизить енергоспоживання. Застосування логістичних підходів забезпечить оптимізацію транспортних потоків і зменшення витрат палива. Участь державних структур та місцевих громад у реалізації концепції створить умови для поєднання економічних інтересів і екологічної відповідальності. Важливою складовою є просвітницька діяльність серед перевізників і населення щодо переваг екологічно безпечного транспорту. Використання досвіду європейських країн у сфері «зелених» перевезень допоможе адаптувати найкращі практики до вітчизняних умов. У результаті це сприятиме формуванню конкурентоспроможної та екологічно орієнтованої транспортної системи. Таким чином, концепція стане основою для гармонійного поєднання економічної ефективності, соціальної користі та збереження природного середовища.

Список використаних джерел

1. Tirth, V., Wagale, M., Singh, A.-P., Sarkar, A. K., Singh, R. K., & Algahtani, A. (2021). “Investigating the adverse impacts of rural roads using a fuzzy multicriteria approach.” Journal of Civil Engineering and Management, 27(6), 441-453. DOI: 10.3846/jcem.2021.15264.

2. Андрощук В.Д., Макаров В.А. Порівняння методів відбору зразків викидів твердих частинок із системи «шина-дорога» автомобілів у різних середовищах випробувань. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 1(22). С. 70-75. URL: https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1347

3. Андрощук В. Д., Макаров В. А. Аспекти аналізу методів контролю автомобільних перевезень в сільськогосподарській місцевості з огляду на стан екологічності довкілля. Наукові праці ВНТУ, 2025, N 2. URL https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/824.

4. Мельник А. Ф. Методологія та організація наукових досліджень: навчальний посібник. К.: Центр учбової літератури, 2018.

Андрощук Віктор Дмитрович **–** здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: androshchykvicktor@gmail.com

Чорний Богдан Володимирович **–** здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Androshchuk Viktor – a graduate of the third (educational and scientific) level of higher education at the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: androshchykvicktor@gmail.com

Chorny Bohdan – a graduate of the second (master's) level of higher education at the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

УДК 338.47:656.078.8

В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко, О.П. Цьонь, Ю.Я. Вовк, В.О. Дзюра

КЛАСТЕРНИЙ ПІДХІД В ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ

Розглянуто сучасні підходи до реалізації кластерної політики в Україні та окреслено проблеми її ефективного впровадження. Показано, що кластеризація є одним із ключових напрямів підвищення конкурентоспроможності національної економіки та регіонального розвитку. Проаналізовано основні нормативно-правові акти, що визначають державну підтримку кластерних ініціатив, зокрема Державну стратегію регіонального розвитку на 2021–2027 роки, Концепцію розвитку малого і середнього підприємництва та Національну економічну стратегію до 2030 року. Виявлено, що відсутність чіткої законодавчої бази та державного органу, відповідального за координацію кластерної політики, знижує ефективність реалізації кластерних проєктів. Здійснено SWOT-аналіз факторів, що впливають на впровадження кластеризації в економіку України, враховуючи воєнні виклики та наслідки пандемії COVID-19. Обґрунтовано необхідність інституціоналізації кластерної форми господарювання шляхом внесення відповідних змін до Господарського кодексу України та створення Кластерної палати України. Запропоновано напрями вдосконалення державної кластерної політики для стимулювання інноваційного розвитку, підвищення інвестиційної активності та зміцнення міжрегіональної кооперації.

Ключові слова: *кластерна політика; регіональний розвиток; кластеризація економіки; інноваційна діяльність; державне управління; SWOT-аналіз; Національна економічна стратегія; конкурентоспроможність; Кластерна палата України.*

Modern approaches to the implementation of cluster policy in Ukraine are considered and the problems of its effective implementation are outlined. It is shown that clustering is one of the key areas of increasing the competitiveness of the national economy and regional development. The main regulatory legal acts that determine state support for cluster initiatives are analyzed, in particular the State Strategy for Regional Development for 2021–2027, the Concept of Small and Medium-Sized Entrepreneurship Development, and the National Economic Strategy until 2030. It is revealed that the lack of a clear legislative framework and a state body responsible for coordinating cluster policy reduces the effectiveness of the implementation of cluster projects. A SWOT analysis of factors influencing the introduction of clustering into the economy of Ukraine is carried out, taking into account military challenges and the consequences of the COVID-19 pandemic. The need to institutionalize the cluster form of business by making relevant amendments to the Economic Code of Ukraine and creating the Cluster Chamber of Ukraine is substantiated. Directions for improving state cluster policy are proposed to stimulate innovative development, increase investment activity, and strengthen interregional cooperation.

Keywords: *cluster policy; regional development; economic clustering; innovative activity; public administration; SWOT analysis; National Economic Strategy; competitiveness; Cluster Chamber of Ukraine.*

Для ефективного функціонування регіональних транспортно-логістичних систем (РТЛС) в Україні необхідним є впровадження інноваційної моделі розвитку, що базується на сучасних технологіях управління, досягненнях науки і техніки та використанні найкращих світових практик. В умовах посилення процесів глобалізації та інтернаціоналізації провідним напрямом соціально-економічного розвитку суб'єктів господарювання України виступає кластерний підхід до управління галузями та регіонами. Саме він забезпечує інноваційне зростання, підвищення конкурентоспроможності регіональних економік і національного господарства загалом.

Запровадження кластерних моделей управління регіональним розвитком набуває статусу стратегічного завдання державного рівня, оскільки кластеризація довела свою ефективність у світовій практиці. Зокрема, кластерний підхід широко реалізується в економіках таких країн, як США, Японія, Фінляндія, Китай, Індія та інші.

Проведене із застосуванням системного підходу формування типової РТЛС з побудовою моделі її організаційно-функціональної структури показало, що така модель, яка включає функціональні елементи (взаємопов'язані ланки регіональної товаропровідної мережі) і

забезпечувальні підсистеми (інформаційне, фінансове, нормативно-правове, науково-технічне забезпечення), об'єднані єдиним товароматеріальним потоком, є прототипом моделі транспортно-логістичного кластера з усіма притаманними йому характеристиками.

Відповідно до теорії кластеризації регіональної економіки, кластери в межах РТЛС характеризуються низкою специфічних ознак:

1. Географічна локалізація. РТЛС формується в межах конкретного регіону, який представлений окремим суб'єктом або групою суб'єктів господарювання.

2. Спільність виробничої та сервісної діяльності. Учасники РТЛС здійснюють управління й обслуговування товароматеріальних, фінансових та інформаційних потоків у межах регіону.

3. Кооперація між учасниками. Підприємства, компанії й організації, що входять до складу кластера, утворюють тісні взаємозв'язки, які забезпечують синергетичний ефект.

4. Поєднання кооперації та конкуренції. Конкурентна взаємодія між учасниками поєднується з кооперацією, що створює стійкі конкурентні переваги як для окремих суб'єктів, так і для кластера загалом.

5. Наявність фірм-лідерів. У РТЛС ядром можуть виступати 3PL- або 4PL-провайдери (вітчизняні чи іноземні), а також великі логістичні центри, розміщені у мультимодальних транспортно-логістичних вузлах (МТЛЦ), які виконують координуючі та інтегруючі функції.

6. Інтеграція малого та середнього бізнесу. РТЛС об'єднує великі логістичні компанії з малими та середніми підприємствами (перевізники, експедитори, страхові компанії, митні брокери, складські оператори тощо).

7. Єдиний інформаційний простір. Ефективне функціонування РТЛС потребує створення інтегрованої інформаційної системи, що забезпечує обмін даними між усіма учасниками.

8. Інноваційна спрямованість. Організаційно-функціональна структура РТЛС містить підсистему науково-технічного та кадрового забезпечення, яка взаємодіє з науковими установами та університетами (зокрема, Центральноукраїнським національним технічним університетом, Тернопільським національним технічним університетом імені Івана Пулюя). Типова структура МТЛЦ охоплює інноваційні центри, технопарки, індустріально-логістичні парки, центри компетенцій та консалтингово-аналітичні компанії, діяльність яких спрямована на розвиток і впровадження інновацій.

9. Інтернаціоналізація діяльності. РТЛС орієнтована на обслуговування регіональних, міжрегіональних і міжнародних товаропотоків (експортних, імпортних і транзитних). Практика показує, що такі системи найчастіше формуються в зонах, прилеглих до міжнародних транспортних коридорів.

10. Узгодження економічних інтересів учасників. Взаємодія в межах РТЛС ґрунтується на логістичних концепціях управління – зокрема, CRM (Customer Relationship Management) і SRM (Supplier Relationship Management). Це забезпечує міжфункціональну та міжорганізаційну координацію й запобігає конфліктам у ланцюгах постачання.

11. Інвестиційна активність. Підсистема фінансового забезпечення РТЛС передбачає участь банків, фінансово-промислових груп, інвестиційних фондів та інших фінансових інституцій (у тому числі іноземних) у розвитку інфраструктури на взаємовигідних умовах.

12. Інтеграція інтересів влади та бізнесу. РТЛС є масштабною, стохастичною та багатофункціональною системою, що істотно впливає на економіку регіону та якість життя населення. Взаємодія бізнесу та органів влади проявляється, зокрема, через механізми державно-приватного партнерства (ДПП), які довели свою ефективність у реалізації інфраструктурних і кластерних проєктів. Функціонування РТЛС сприяє створенню робочих місць, збільшенню податкових надходжень і забезпечує мультиплікативний ефект для розвитку економіки регіону та країни.

У межах кластерної теорії наголошується, що ефективне створення та розвиток кластерів можливе лише за наявності комплексу умов, які формують так зване правило **«п'яти І»**: *ініціатива, інновація, інтеграція, інформація, інтерес*. Саме ця сукупність чинників виступає одночасно каталізатором формування кластерів і ключовим фактором залучення інвестицій у їхню діяльність. Раніше у науковій літературі використовувалося правило **«чотирьох І»** – *інновація, інтеграція, інформація, інтерес*, які є складовими самої структури РТЛС. Наразі головним рушійним чинником залишається *ініціатива*, ініціатором якої у процесі створення РТЛС здебільшого виступають органи регіональної влади, враховуючи масштабність і

стратегічну важливість таких систем.

Відповідно до Концепції кластерної політики України, основні ознаки кластерів у межах регіональних транспортно-логістичних систем (РТЛС) можна визначити так:

1. Високі конкурентні позиції на міжнародних або загальнонаціональних ринках, що проявляються у високому рівні мультифакторної продуктивності, значних обсягах експорту продукції та послуг або істотному внеску у зовнішньоекономічну діяльність.

2. Наявність конкурентних переваг для розвитку кластерів, серед яких – вигідне географічне розташування, доступ до ресурсів і сировини, наявність кваліфікованих кадрів, постачальників, спеціалізованих навчальних закладів і розвиненої інфраструктури.

3. Географічна концентрація підприємств і організацій кластера, що сприяє налагодженню тісної взаємодії, оперативному обміну ресурсами та підвищенню ефективності діяльності.

4. Розмаїття учасників кластера, яке забезпечує синергетичний ефект у результаті взаємодії підприємств, компаній, організацій, освітніх і наукових установ.

5. Ефективна кооперація між учасниками, яка реалізується через механізми субконтрактації, партнерства з освітньо-науковими установами, спільну участь у програмах технологічного розвитку, а також колективне просування продукції й послуг на ринку.

Формування транспортно-логістичних кластерів (ТЛК) в Україні відбувається з урахуванням усіх базових характеристик, притаманних кластерним утворенням. Концепція кластерної політики України, беручи до уваги галузеву специфіку, визначає декілька типів кластерів, серед яких важливе місце посідає транспортно-логістичний кластер. Такий кластер охоплює інфраструктурні об’єкти та суб’єкти господарювання, що спеціалізуються на перевезенні, зберіганні, супроводі та доставці вантажів і пасажирів. До його складу можуть входити підприємства, які обслуговують портові комплекси, а також компанії, що здійснюють морські, річкові, автомобільні, залізничні та повітряні перевезення. Важливу роль у структурі ТЛК відіграють логістичні комплекси, транспортно-експедиційні компанії, оператори складських потужностей та інші елементи інфраструктури.

ТЛК – це добровільне об’єднання підприємств, фірм, компаній, інфраструктурних об’єктів та організацій, діяльність яких пов’язана з перевезенням, зберіганням і обробкою вантажів, а також наданням логістичних послуг. Основною метою створення ТЛК є підвищення конкурентоспроможності транспортно-логістичних послуг, оптимізація ресурсного використання та розвиток партнерських відносин між бізнесом, науковими та освітніми установами і органами державної влади на різних рівнях управління. Розвиток таких кластерів переважно спостерігається у регіонах із потужним транзитним потенціалом, що забезпечує інтеграцію у міжнародні транспортно-логістичні мережі.

Під час побудови кластерної моделі виділяють такі основні структурні елементи:

1. Ядро – це ключові об’єкти, навколо яких формується кластер. Вони здійснюють основний вид діяльності, визначають його спеціалізацію та позиціонування, виробляють кінцеву продукцію або надають послуги з урахуванням регіональної спеціалізації та географічних переваг.

2. Доповнюючі об’єкти – це суб’єкти, діяльність яких безпосередньо забезпечує функціонування об’єктів ядра, сприяючи ефективності та стабільності роботи кластера.

3. Обслуговуючі об’єкти – це організації, необхідні для забезпечення життєдіяльності кластера, але діяльність яких не має прямого функціонального зв’язку з основною діяльністю об’єктів ядра. До цієї групи належать підприємства, фірми та компанії, що надають сервісні послуги (інформаційні, збутові, ремонтні), а також фінансові структури, які здійснюють фінансове обслуговування учасників кластера.

4. Допоміжні об’єкти – це елементи, присутність яких у кластері є бажаною, але не обов’язковою. Вони сприяють підвищенню ефективності діяльності кластера, забезпечують пошук внутрішніх резервів, підтримують безперервність відтворювальних процесів та реалізацію стратегічних переваг. До таких об’єктів належать консультаційно-сервісні структури та інституції фінансового капіталу. Їхня діяльність спрямована на підвищення мобільності розвитку та ефективне використання технологічного потенціалу кластера.

Ядром регіонального транспортно-логістичного кластера (РТЛК) можуть бути структури-лідери, зокрема мультимодальні транспортно-логістичні центри (МТЛЦ), 4PL- і 3PL-провайдери. До складу ядра РТЛК також можуть входити великі транспортно-експедиційні

компанії – оператори мультимодальних та інтермодальних перевезень, інформаційно-аналітичні та консалтингові компанії, великі автотранспортні та залізничні підприємства (зокрема філії АТ «Укрзалізниця»), а також авіакомпанії, морські й річкові порти, великі вантажовласники тощо.

До категорії обслуговуючих об'єктів, діяльність яких є необхідною, але не безпосередньо пов'язаною з функціонуванням ядра РТЛК, належать:

– основна транспортна мережа з під'їзними шляхами;
– підприємства, що організовують транспортні послуги у транспортних вузлах;
– комплекси з переробки вантажів та інші об'єкти транспортної інфраструктури;
– регіональні управління транспортом;
– експедиторські та перевізницькі компанії;
– власники терміналів, складів і митних комплексів;
– митні брокери;
– вантажні термінальні комплекси;
– мультимодальні транспортно-логістичні центри;
– інформаційно-аналітичні структури;
– інвестиційні компанії, фінансово-промислові групи, банки та інші фінансові установи;
– обчислювальні центри (ОЦ), інформаційні центри (ІЦ) та автоматизовані системи управління (АСУ) усіх видів транспорту.

Допоміжними елементами кластерної моделі РТЛК виступають:

– гуртові торговельні посередники, агенти, дилери, брокери, дистриб'ютори;
– охоронні, страхові, інформаційні та консалтингові компанії;
– органи ліцензування й сертифікації;
– розподільні центри промислових і сільськогосподарських підприємств;
– гуртові бази, центри гуртової торгівлі, центри дистрибуції;
– рекламні та маркетингові агенції;
– інформаційно-логістичні центри термінальних комплексів;
– екологічні центри, відповідальні за охорону навколишнього середовища.

Доповнюючі об'єкти РТЛК підкреслюють його інноваційний характер. До них належать:

– науково-дослідні інститути та лабораторії;
– заклади освіти;
– технопарки, бізнес-інкубатори, наукоміста;
– індустріально-логістичні парки;
– центри компетенцій та інновацій.

Таким чином, модель регіонального транспортно-логістичного кластера (РТЛК) є типовою та відображає узагальнену структурну організацію РТЛК, де поєднуються виробничі, сервісні, наукові, фінансові та управлінські компоненти, що забезпечують його цілісне функціонування й розвиток.

Слід зазначити, що в кожному конкретному регіоні кластерна модель має власні особливості, які відображають специфіку та спеціалізацію регіону, рівень його соціально-економічного розвитку, характер розміщення продуктивних сил, конфігурацію транспортної мережі, а також структуру та обсяги вантажопотоків, що формуються або проходять через дану територію.

З урахуванням просторових меж поширення ТЛК, його геополітичних, соціально-економічних, стратегічних і тактичних цілей можна виокремити три основні типи таких кластерів:

1. Регіональні транспортно-логістичні кластери (РТЛК) формуються, як правило, у межах окремих адміністративно-територіальних одиниць (областей). Такі кластери мають багато спільних рис з регіональними транспортно-логістичними системами (РТЛС) і фактично є їхнім структурним прототипом. Їхня діяльність спрямована на забезпечення ефективної взаємодії транспортних, логістичних, виробничих та інфраструктурних суб'єктів регіону.

2. Міжрегіональні транспортно-логістичні кластери (МРЛК) охоплюють декілька суміжних регіонів. При цьому один із них, маючи більш розвинену економіку, виступає регіоном-лідером, формуючи ядро міжрегіонального кластера та сприяючи соціально-економічному зростанню сусідніх територій. Такі кластери доцільно організовувати у форматі міжрегіональних макрологістичних платформ (ММЛП), які інтегрують кілька РТЛК (або РТЛС).

Їх функціонування базується на інноваційних підходах до управління товарно-матеріальними та супутніми потоками, а також на реалізації спільних економічних цілей, узгоджених із загальнонаціональними стратегіями розвитку.

3. Глобальні транспортно-логістичні кластери (ГТЛК) створюються переважно в регіонах, розташованих у зоні тяжіння до міжнародних транспортних коридорів. Їхнє основне призначення – забезпечення прискореного просування наскрізних вантажних потоків та надання високоякісного логістичного сервісу. Ядром таких кластерів виступають мультимодальні транспортно-логістичні центри (МТЛЦ), що функціонують у великих транспортних вузлах і забезпечують залучення додаткових вантажопотоків, координацію взаємодії учасників ланцюга постачання, а також розвиток зовнішньоекономічних зв'язків України. ГТЛК сприяють розширенню участі держави у глобальній системі міжнародних транспортних коридорів (МТК) та реалізації її експортно-транзитного потенціалу.

В умовах сьогодення, коли Україна перебуває у процесі подолання наслідків економічної кризи та формування нової моделі соціально-економічного розвитку, кластерний підхід набуває особливої актуальності. Сучасна кластерна теорія стає важливим інструментом підвищення ефективності функціонування національної економіки, оптимізації розміщення продуктивних сил та забезпечення конкурентоспроможності на світовому ринку.

Концепції кластеризації економіки залежать від комплексу чинників – економічних, політичних, соціальних і законодавчих. Водночас функціонування українських кластерів потребує адаптації до нових глобальних викликів, зокрема наслідків пандемії COVID-19, що спричинила економічний спад, а також умов воєнної агресії з боку російської федерації.

У цих обставинах підвищення стійкості, інноваційності та конкурентоспроможності економіки України є одним із ключових національних пріоритетів. Для цього держава змушена впроваджувати гнучкі та багатовекторні підходи до організації виробництва, логістики та збуту, орієнтуючись на ефективне використання ресурсів і створення доданої вартості.

Формування й розвиток транспортно-логістичних кластерів є закономірним етапом еволюції сучасної економіки, що сприяє підвищенню інвестиційної привабливості регіонів, оптимізації логістичних процесів та розбудові інноваційної моделі промислового розвитку України. Кластерна модель довела свою ефективність як інструмент інтеграції науки, бізнесу та державного управління в єдину систему сталого економічного зростання.

У процесі виконання дослідження було застосовано комплекс загальнонаукових і спеціалізованих методів, що забезпечили обґрунтованість і достовірність отриманих результатів. Зокрема, методи аналізу та синтезу використано для оцінювання сучасного стану впровадження кластерної політики в Україні, визначення її впливу на національну економіку, а також виявлення основних проблем, тенденцій і напрямів удосконалення. Метод аналогій і порівняльного співставлення застосовано для зіставлення ефективності розвитку економіки з використанням кластерного підходу та без нього, а також для аналізу процесів кластеризації в Україні у порівнянні з міжнародним досвідом.

В умовах трансформації національної економіки важливим завданням є активізація кластерних ініціатив і створення сприятливих умов для об'єднання малих і середніх підприємств у кластери. Такі об'єднання виступають ефективною платформою взаємодії різних суб'єктів господарювання в межах конкретного регіону, сприяючи розвитку наукових досліджень, впровадженню інноваційних технологій і підвищенню конкурентоспроможності. Кластери виконують важливу роль у процесі прийняття економічних рішень, їх реалізації та мобілізації спільних ресурсів для покращення ділового середовища. Вони є інструментом реалізації стратегічних напрямів галузевої спеціалізації, а кластерна політика держави – системою стимулювання та підтримки таких ініціатив.

Кластерні утворення вирізняються гнучкістю стратегічного управління, що дозволяє їм оптимізувати витрати, підвищувати ефективність виробництва та оперативно реагувати на виклики зовнішнього середовища. Завдяки кластеризації посилюється прозорість і керованість регіональних економічних процесів, а успішно функціонуючі кластери перетворюються на центри тяжіння інвестицій, висококваліфікованих кадрів та інноваційних послуг.

У глобальній практиці кластерні стратегії широко використовуються як один із провідних механізмів економічного зростання та структурної модернізації. Органи державного управління в розвинених країнах, формуючи кластерну політику, застосовують розгалужену класифікацію

кластерів з метою залучення до співпраці максимальної кількості підприємств, наукових установ і сервісних організацій.

Сучасні промислові кластери виступають просторовими утвореннями нового типу, які забезпечують ефективну взаємодію між бізнесом, наукою та владою. Досвід розвинених країн підтверджує, що саме кластерна модель сприяє розвитку партнерства, інновацій та підвищенню конкурентоспроможності промисловості. Відтак, створення подібних структур в Україні є логічним і необхідним кроком на шляху до інноваційно-орієнтованого економічного розвитку.

У світовій практиці використовуються різні інструменти реалізації кластерного підходу. У країнах Європейського Союзу розвиток кластерів здійснюється в межах стратегії розумної спеціалізації (Smart Specialisation Strategy), спрямованої на концентрацію ресурсів у пріоритетних напрямах інноваційного розвитку. Тому впровадження європейської моделі кластеризації в українську промисловість є закономірним кроком у контексті євроінтеграційних процесів.

Міжнародний досвід підтверджує ефективність кластерного підходу як інструменту підвищення конкурентоспроможності як на рівні регіонів, так і національної економіки загалом. Реалізація кластерної політики передбачає комплекс організаційно-економічних заходів, спрямованих на розвиток партнерських зв'язків між підприємствами, формування мережевої взаємодії та створення стійких бізнес-екосистем.

Європейська практика демонструє важливість створення спеціалізованих органів управління кластерами, які забезпечують ефективну координацію діяльності, чіткий розподіл функцій між учасниками та формування довгострокових стратегічних орієнтирів. У багатьох країнах підтримка кластерів інтегрована в регіональні інноваційні стратегії або стратегії інтелектуальної спеціалізації (RIS3).

Багато викликів, що стоять перед Європейським Союзом, є релевантними й для України. Тому досвід ЄС у формуванні регіональної політики та підтримці кластерів може бути цінним орієнтиром у розробленні національних механізмів регіонального розвитку.

Попри значний потенціал, рівень розвитку кластерних структур в Україні залишається нижчим, ніж у провідних індустріальних державах. Серед причин цього – недостатня інституційна підтримка, обмежена координація між державою, бізнесом і наукою, а також низька інноваційна активність підприємств. Проте, саме державна кластерна політика має стати ключовим інструментом економічного відродження країни та підвищення її міжнародної конкурентоспроможності.

Для ефективної реалізації кластерної моделі розвитку необхідно здійснити детальний аналіз економічного потенціалу регіонів з метою визначення галузей, найбільш придатних для формування кластерів. Не всі сектори економіки мають однаковий потенціал для кластеризації, тому особливої уваги потребує вибір стратегічно важливих напрямів спеціалізації.

Успіх кластерної політики безпосередньо залежить від інтеграції кластерів у стратегічні національні та регіональні програми розвитку, а також від залучення різних джерел фінансування, включно з державними, муніципальними та приватними інвестиціями. Важливим завданням є створення сприятливих умов для реалізації інвестиційних проєктів, що забезпечать довгостроковий ефект від кластеризації економіки.

Стартапи можуть виступати результатом реалізації внутрішнього підприємницького потенціалу, який доцільно інтегрувати у кластерні структури. Відповідно, кластерна політика відіграє ключову роль у стимулюванні інноваційної діяльності та розвитку стартапів, сприяючи формуванню кластерних ініціатив і підтримуючи підприємства, компанії та організації у виході на міжнародні ринки через співпрацю із зацікавленими учасниками інноваційного процесу.

У процесі аналізу теоретико-методичних основ упровадження кластерної політики в умовах економічної трансформації доцільно розглядати різні наукові підходи до її визначення. Науковці зазначають, що кластерна політика є інноваційною моделлю соціально-економічного розвитку держави, регіону чи міста, яка переосмислює роль бізнесу, органів влади та інституцій у забезпеченні конкурентоспроможності. Кластерна політика розглядається як система державних механізмів і заходів, спрямованих на підвищення ефективності діяльності підприємств та їх інноваційного потенціалу. Кластерна теорія, як сучасний напрям регіональної економіки, підтвердила свою практичну результативність у багатьох країнах світу.

Для України особливо актуальним є зосередження уваги на інструментах, які сприяють

підвищенню стійкості та конкурентоспроможності національного бізнесу. Одним із найдієвіших засобів є впровадження кластерної політики, результатом якої стане створення, розвиток і підтримка кластерних утворень. Економічні системи, що базуються на кластеризації, характеризуються високим рівнем інвестиційної привабливості, інноваційності та конкурентоспроможності, а також сприяють підвищенню якості життя населення.

Державна кластерна політика реалізується з метою підвищення ефективності функціонування існуючих кластерів, а також стимулювання розвитку нових, які перебувають на початковій стадії формування. Незважаючи на наявність різноманітних інструментів досягнення цілей кластерної політики, універсальні підходи до її реалізації є складними для формування через унікальність і специфіку кожного кластера. Динамічні зміни в соціально-економічних процесах вимагають від державних інституцій і бізнесу постійного аналізу ринкових тенденцій, прогнозування їх наслідків для підприємницької діяльності та адаптації управлінських рішень до нових викликів.

Упродовж останніх років питання кластеризації набуває особливої актуальності в контексті регіональної економічної політики України. Формування та розвиток кластерів визначено одним із пріоритетних напрямів у стратегіях регіонального розвитку. Так, у Державній стратегії регіонального розвитку на 2021–2027 роки наголошується на важливості створення міських і регіональних економічних кластерів як засобу підвищення ефективності використання ресурсного потенціалу територій та стимулювання інноваційної діяльності. У Концепції Загальнодержавної програми розвитку малого і середнього підприємництва на 2014–2024 роки кластеризація визначена як один із ключових інструментів інтеграції суб'єктів підприємництва в національні та міжнародні інноваційно-технологічні мережі. Документ також передбачає необхідність закріплення поняття «кластер» у законодавчому полі.

Національна економічна стратегія до 2030 року стала важливим кроком у забезпеченні стратегічного курсу держави на модернізацію економіки. Її послідовна реалізація створює передумови для формування конкурентного бізнес-середовища, залучення інвестицій, активізації інноваційної діяльності та підвищення конкурентоспроможності українських підприємств на міжнародних ринках.

У цьому контексті кластерні мережі виступають середовищем, у якому формуються та вдосконалюються партнерські взаємозв'язки, засновані на довірі та взаємовигідній співпраці. Успішні кластери стають осередками взаємодії, що забезпечують ефективну комунікацію між учасниками, узгодження спільних інтересів і досягнення синергетичного ефекту.

Для державної економічної політики надзвичайно важливо створювати сприятливі умови для розвитку кластерних процесів, зокрема об'єднання малих і середніх підприємств у кластерні структури. Проведення SWOT-аналізу дає змогу виявити взаємозв'язки між внутрішніми (сильними та слабкими сторонами) і зовнішніми (можливостями та загрозами) чинниками, що визначають стратегічні перспективи впровадження кластерного підходу в економіку України.

Оцінюючи потенціал кластеризації, слід ураховувати, що макроекономічна ситуація в державі залишається складною. За аналітичними прогнозами, попри очікуване поступове відновлення після кризи, у 2022–2023 роках спостерігався суттєвий спад економічної активності, зумовлений війною. Водночас економічне відновлення відбувається нерівномірно: стабільне зростання демонструє торгівельний сектор, перспективними залишаються інформаційні технології та телекомунікації, тоді як промисловість, транспорт і сфера послуг потребують довгострокової підтримки.

Переважна більшість українських кластерів діє у секторах, найбільш вразливих до зовнішніх шоків – пандемії COVID-19 та повномасштабної війни. Це призводить до уповільнення темпів економічного відновлення, зростання інфляції, скорочення внутрішнього попиту й втрати зовнішніх ринків збуту. Обмежена державна підтримка також становить серйозний виклик для ефективного розвитку кластерних ініціатив. Попри поступове зростання кількості кластерів, відсутність нормативно-правового регулювання їхньої діяльності ускладнює реалізацію кластерної політики.

Список використаних джерел

1. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.] ; під заг. ред. В. В. Ауліна. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. - 428с.

2. Формування логістичних проєктно-орієнтованих кластерів у регіональних ланцюгах постачань агропродукції / В. В. Аулін, Д. В. Голуб, А. В. Гриньків, С. В. Лисенко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 2. - С. 214-227.

3. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.

4. Аулін В. В., Митник М. М., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Цьонь О. П., Лисенко С. В., Гудь В. З., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Бабій М. В. Формування та функціонування логістичних центрів в регіональних транспортно-логістичних системах України: монографія за заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В. В., д.т.н., проф. Ляшука О. Л. – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2024. – 393 с.

5. Аулін, В. В. Інноваційні рішення в складській логістиці / В. В. Аулін, С. Ю. Тищенко, А. В. Гриньків // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 1. - С. 270-285.

6. Aulin V. Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex / V. Aulin, D. Velykodnyi, V. Dyachenko // Modern Management: Logistics and Education. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. - P.165-169.

Аулін Віктор Васильович **–** д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: aulinvv@gmail.com

Ляшук Олег Леонтійович **–** д.т.н., професор, перший проректор Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Гевко Іван Богданович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, e-mail: gevkoivan1@gmail.com

Цьон Олег Петрович **–** к.т.н., доцент, завідувач кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, e-mail: tsonoleg@gmail.com

Вовк Юрій Ярославович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, e-mail: vovkyuriy@tntu.edu.ua

Дзюра Володимир Олексійович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, e-mail: Volodymyrdzyura@gmail.com

Aulin Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: aulinvv@gmail.com

Lyashuk Oleh L. – Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector of Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Gevko Ivan B. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, e-mail: gevkoivan1@gmail.com

Tsyon Oleh P. – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University Ivan Pulyuy, e-mail: tsonoleg@gmail.com

Vovk Yuriy Y. – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, e-mail: vovkyuriy@tntu.edu.ua

Dzyura Volodymyr O. – Ph.D., Professor, Professor of the Department of Automobiles, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, e-mail: Volodymyrdzyura@gmail.com

УДК 629.33.004.942:004.9

В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, В.З. Гудь, І.Б. Гевко, А.Б. Гупка

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ КІБЕРФІЗИЧНОГО ПІДХОДУ

Представлено концепцію побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної техніки. Обґрунтовано доцільність застосування ситуаційно-орієнтованого підходу до управління поведінкою ресурсів, що забезпечує самоорганізацію та адаптивність системи в реальному часі. Розглянуто механізми взаємодії інформаційних і фізичних компонентів, принципи самоорганізації ресурсів на різних рівнях кіберфізичної системи, а також структуру процесів пізнання, комунікації та синергетичної кооперації. Визначено роль протоколів взаємодії типу BarterCast для регламентації обміну даними та побудови репутаційних зв'язків між ресурсами. Запропоновано використання платформи Smart-M3, побудованої на принципах семантичного Вебу, як ефективного інструменту створення інтелектуального простору кіберфізичної системи технічного сервісу. Представлено структурну схему взаємодії інформаційних агентів, семантичного інформаційного брокера і фізичного сховища даних. Показано, що впровадження кіберфізичного підходу забезпечує децентралізоване прийняття рішень, підвищує стійкість, надійність і ефективність технічного обслуговування та ремонту машин.

Ключові слова: *кіберфізична система; технічний сервіс; автотранспортна техніка; Smart-M3; семантичний Веб; самоорганізація; ситуаційно-орієнтоване управління; HTTP; URI; SIB; BarterCast.*

The concept of building and functioning of a cyber-physical system for technical service of motor vehicles is presented. The feasibility of using a situation-oriented approach to resource behavior management, which ensures self-organization and adaptability of the system in real time, is substantiated. The mechanisms of interaction of information and physical components, the principles of self-organization of resources at different levels of the cyber-physical system, as well as the structure of the processes of cognition, communication and synergistic cooperation are considered. The role of interaction protocols of the BarterCast type for regulating data exchange and building reputational links between resources is determined. The use of the Smart-M3 platform, built on the principles of the semantic Web, is proposed as an effective tool for creating an intellectual space for a cyber-physical system for technical service. A structural diagram of the interaction of information agents, a semantic information broker and a physical data repository is presented. It has been shown that the implementation of a cyber-physical approach ensures decentralized decision-making, increases the stability, reliability, and efficiency of machine maintenance and repair.

Keywords: *cyber-physical system; technical service; motor vehicle technology; Smart-M3; semantic Web; self-organization; situational-oriented management; HTTP; URI; SIB; BarterCast.*

Побудова та функціонування кіберфізичної системи (КФС) технічного сервісу автотранспортної техніки (АТТ) визначається передусім характером поведінки її ресурсів. Ці ресурси взаємодіють між собою в інтелектуальному середовищі та з керуючими пристроями у фізичному просторі, що відбувається в реальному часі.

Інтелектуальні, адаптивні й самоорганізовані КФС технічного сервісу, які базуються на інтелектуальних стратегіях технічного обслуговування і ремонту (ТОР), мають здатність самостійно реагувати на зміни у фізичному середовищі. Вони приймають децентралізовані рішення щодо поведінки діагностичних пристроїв без необхідності зовнішнього управління, що забезпечує підвищену стійкість систем до зовнішніх впливів та їхню динамічну адаптивність.

Самоорганізація ресурсів у межах інтелектуальної КФС проявляється як усередині окремих рівнів системи, так і між ними. Одноріневна самоорганізація сьогодні активно досліджується, розробляються нові технологічні підходи, проте їх широке впровадження ще обмежене.

Дослідження КФС технічного сервісу АТТ спрямовані на створення моделей і технологій ТОР, здатних забезпечити ефективну роботу ресурсів і реалізацію мережевого принципу

взаємодії. Такі системи відкривають можливості інтеграції інформаційних і фізичних підсистем для формування нових типів ресурсів. Аналіз сучасних підходів свідчить, що найбільш перспективним напрямом розвитку є застосування принципів інтелектуалізації та самоорганізації при побудові КФС.

Проведені дослідження поведінки ресурсів і управління командами в межах кіберфізичних систем технічного сервісу показали, що найбільш результативними є самоорганізовані команди, що реалізують групову поведінку ресурсів.

Детальний аналіз принципів формування й функціонування КФС технічного сервісу АТТ дав змогу розробити її узагальнену структурну схему. Взаємодія між підсистемами ґрунтується на інфраструктурі, яка забезпечує зв'язок, обчислення, керування та інтегрує сенсори, обчислювальні пристрої, сервіси й засоби комунікацій.

У межах КФС спостерігаються процеси самоорганізації верхнього, нижнього та внутрішнього рівнів ресурсів. Внутрішньорівнева самоорганізація передбачає використання таких інформаційних компонентів:

- пізнання – формування ситуаційно-залежної суб'єктивної інформації;
- комунікація – об'єктивізація та суб'єктивізація інформаційних потоків;
- синергетична кооперація – створення нової об'єктивної інформації на основі взаємодії ресурсів.

Ефективність використання індивідуальної, ситуаційно залежної інформації у КФС забезпечується завдяки процесам координації й кооперації. Формалізована об'єктивна інформація дає змогу підтримувати сталі відносини між елементами системи незалежно від просторово-часових факторів.

Для забезпечення внутрішньорівневої самоорганізації ресурси кіберфізичної системи мають бути ініціативними, інформованими, активними та соціально орієнтованими. Вони здатні змінювати навколишнє середовище, що, своєю чергою, впливає на поведінку інших груп ресурсів. Доведено, що поведінка окремого ресурсу частково визначається зовнішнім середовищем, на яке він впливає згідно з визначеними нормами. Для регламентації таких процесів застосовуються протоколи взаємодії, зокрема на основі підходу BarterCast, який передбачає:

- побудову кожним ресурсом власної мережі взаємодії з іншими ресурсами;
- визначення репутації ресурсу через репутаційні зв'язки з іншими елементами системи.

Ситуаційно-орієнтований підхід дозволяє представити рівні самоорганізації ресурсів у контексті конкретних ситуацій, що формуються в КФС технічного сервісу. Через структурну подібність моделей самоорганізації на всіх рівнях поведінка груп ресурсів формується узгоджено, а технологічна здатність їх взаємодії підтримується використанням загальноприйнятих стандартів.

Одним із ефективних способів реалізації технології інтелектуальних просторів у КФС технічного сервісу АТТ є використання платформи Smart-M3. Вона забезпечує створення інфраструктури, що дозволяє розподіленим інформаційно-керуючим системам формувати власні інтелектуальні простори для взаємодії між ресурсами. У межах цієї платформи відбувається також взаємодія користувачів мобільних пристроїв із ресурсами КФС технічного сервісу машин: комунікація здійснюється в інтелектуальному просторі, тоді як керуючі дії передаються до фізичного простору.

Платформа Smart-M3 побудована на засадах семантичного Вебу, головні принципи якого передбачають незалежність від конкретних виробників, апаратних засобів чи сфер застосування. Вона забезпечує можливість обміну даними між різними програмними компонентами через універсальний інформаційний брокер. Використання концепції семантичного Вебу дозволяє організувати обмін інформацією між учасниками інтелектуальних просторів на основі протоколу HTTP (HyperText Transfer Protocol) із застосуванням уніфікованих ідентифікаторів ресурсів URI (Uniform Resource Identifier).

HTTP – це базовий протокол передавання гіпертекстових даних, що використовується для транспортування веб-контенту. Його робота ґрунтується на клієнт-серверній моделі: клієнт надсилає запит серверу, який опрацьовує його та повертає результат. Перехід до основного протоколу комунікації здійснюється після реєстрації доменного імені.

Центральним елементом архітектури Smart-M3 є семантичний інформаційний брокер (Semantic Information Broker, SIB) та фізичне сховище даних. Компонент SIB забезпечує доступ інформаційних агентів до бази знань і надає інструменти для виконання основних операцій: вставлення, вилучення, оновлення, редагування та моніторингу змін інформації. У сховищі дані представлені у вигляді семантичної мережі відповідно до стандарту RDF (Resource Description Framework), де всі вузли та зв'язки мають унікальні ідентифікатори ресурсів. Кожне RDF-твердження описується структурою «суб'єкт – предикат – об'єкт», а інформаційні об'єкти при цьому реалізуються у вигляді програмних модулів.

Практичні рекомендації:

1. У межах КФС технічного сервісу машин запускається користувацький додаток, у якому здійснюється вибір параметрів виконання певного сценарію. Сам сценарій передбачає взаємодію сервісів і формування узгодженої тенденції дій.

2. У разі виникнення конфліктної або невизначеної ситуації користувацький сервіс повідомляє про неможливість реалізації обраного сценарію з поточними параметрами.

3. Після підтвердження з боку користувача нові характеристики сформованої тенденції публікуються в інтелектуальному просторі, що дозволяє здійснювати відповідні операції з технічного обслуговування та ремонту у межах кіберфізичної системи сервісу.

Таким чином, проведений аналіз принципів побудови та функціонування кіберфізичної системи дав змогу запропонувати схематичне представлення КФС технічного сервісу. Оскільки КФС є самоорганізованою системою, ресурси якої здатні відстежувати зміни ситуацій, оперативно надавати необхідну інформацію та сервіси, а також адаптуватися до нових умов, управління її поведінкою доцільно здійснювати на основі ситуаційно-орієнтованого підходу. Схематично подано концепцію ситуаційно-орієнтованого управління у КФС технічного сервісу машин. Визначено особливості самоорганізації верхнього, нижнього та внутрішнього рівнів системи. Показано, що взаємодія користувачів мобільних пристроїв із ресурсами відбувається в інтелектуальному середовищі, тоді як керуючі впливи реалізуються у фізичному просторі. Встановлено, що одним із практичних рішень для реалізації інтелектуальних просторів у КФС технічного сервісу є платформа Smart-M3, побудована на принципах семантичного Вебу. Розроблено схематичну структуру цієї платформи, яка включає пристрої, інформаційних агентів, семантичний інформаційний брокер (SIB) і фізичне сховище даних. Визначено функції та роль кожного з компонентів у процесі взаємодії. Самоорганізована кіберфізична система технічного сервісу реагує на зміни у фізичному просторі шляхом децентралізованого прийняття рішень щодо дій фізичних пристроїв без необхідності зовнішнього управління, що забезпечує її стійкість і динамічну адаптивність. На основі принципів семантичного Вебу обмін інформацією між учасниками інтелектуальних і фізичних просторів здійснюється через протокол HTTP із використанням уніфікованих ідентифікаторів ресурсів (URI).

Список використаних джерел

1. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). С.331-343.

2. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, С. В. Лисенко [та ін.] // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів : науковий журнал. - Харьків : ХНТУСГ, 2020. - № 22. - С. 162-174. .

3. Алгоритм оптимізації надійності функціонування та ефективності використання виробничого обладнання методами штучного інтелекту / В. В. Аулін, С. Г. Ковальов, А. В. Гриньків, В. В. Варваров // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 1. - С. 60-67.

4. Аулін В.В. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення: монографія / Аулін В. В. [та ін.] ; за ред. проф. Ауліна В. В. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2016. - 303 с.

5. Victor Aulin, Oleg Lyashuk, Serhii Lysenko, Oleg Tson, Andrii Hrynkiv, Nataliia Rozhko. Extension of the service term of the resource-determining elements of vehicle units based on the artificial neural network model of their defects. Procedia Structural Integrity 59 (2024) 436–443.

6. Інтеграція штучного інтелекту в системи підтримки прийняття рішень в оптимізації виробничих процесів машинобудівного підприємства на прикладі машинного навчання / Р. Ю. Бойко, В. В. Аулін, А. А. Тихий [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 2. - С. 95-103.

Аулін Віктор Васильович **–** д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: aulinvv@gmail.com

Ляшук Олег Леонтійович **–** д.т.н., професор, перший проректор Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Гудь Віктор Зіновійович **–** д.т.н., професор, професор Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: vic_g@tntu.edu.ua

Гевко Іван Богданович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, e-mail: gevkoivan1@gmail.com

Гупка Андрій Богданович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, e-mail: Gypkab@gmail.com

Aulin Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: aulinvv@gmail.com

Lyashuk Oleh L. – Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector of Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Gud Viktor Z. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, e-mail: vic_g@tntu.edu.ua

Gevko Ivan B. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, e-mail: vic_g@tntu.edu.ua Ivan Puliuy, e-mail: gevkoivan1@gmail.com

Gupka Andrii B. – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles, Ivan Puliuy Ternopil National Technical University, e-mail: Gypkab@gmail.com

УДК 629.113.002.5; 620.1; 614.84

В.О. Балицька, О.І. Балицький, В.О. Колесніков

СТІЙКІСТЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПОЖЕЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

Представлено огляд сучасних досліджень, присвячених оцінюванню стійкості конструкційних матеріалів пожежних автомобілів до експлуатаційного зношування. Підкреслено важливість дотримання чинних нормативних документів і стандартів щодо впровадження інноваційних технологій та матеріалів, які забезпечують необхідний рівень надійності й довговічності.

Ключові слова: *автомобілебудування, пожежний автомобіль, стійкість матеріалів, експлуатаційне зношування.*

An overview of current research on the evaluation of the durability of structural materials used in fire trucks under operational wear conditions is presented. The importance of complying with existing regulatory documents and standards related to the implementation of innovative technologies and materials that ensure the required level of reliability and service life is emphasized.

Key words *automotive industry, car, fire truck, material resistance, operational wear.*

Стійкість конструкційних матеріалів сучасних пожежних автомобілів (Unimoga U1550L, Rosenbauer, RIV 03, Saval-Knonenburg, Star 244, Jelcz 317, MAN 10.224 LAEC 4x4, Mitsubishi Canter, Protector (Closer Saro)) до експлуатаційного зношування є одним із ключових чинників, що визначають їхню надійність, ефективність роботи та тривалість експлуатаційного ресурсу [1 – 4]. Високі вимоги до довговічності таких матеріалів зумовлені специфічними умовами функціонування пожежної техніки. Під час виконання службових завдань пожежні автомобілі зазнають інтенсивних термомеханічних навантажень, дії високих температур полум'я, різких коливань вологості та температури, а також впливу агресивних (поверхнево активних) хімічних середовищ — зокрема продуктів згоряння, паливно-мастильних матеріалів і реагентів. Окрім того, часті пуски двигуна, тривала робота насосного обладнання та експлуатація у позашляхових умовах призводять до підвищеного рівня тертя і зносу елементів систем трансмісії, гальмівних механізмів і підвіски.

З урахуванням цих факторів особливого значення набуває вибір конструкційних матеріалів із високою теплостійкістю, корозійною стійкістю та зносостійкістю, а також застосування сучасних технологій зміцнення поверхонь і захисних покриттів, що забезпечують стабільність властивостей матеріалів у процесі тривалої експлуатації.

Матеріали пожежних автомобілів повинні витримувати постійні механічні навантаження під час руху, гальмування, вібрацій і ударів. Вони зазнають багато циклів навантаження — це може викликати втому матеріалу і появу мікротріщин, які з часом розвиваються. Такі явища особливо небезпечні в елементах шасі, зчеплення і кронштейнах. Наприклад, аналіз механічної втоми фаркопа пожежного автомобіля показав, як змінюється напруга та деформування структури під повторним навантаженням [5].

Важливий вплив температурних та термічних циклів, а також агресивних (поверхнево активних) середовищ. Під час гальмування або в роботі насосів деталі можуть нагріватися й охолоджуватися багаторазово, що може викликати термічну втому чи появу тріщин через різні температури в поверхні та середині. Дослідженнями виявлено, що гальмівні диски, виготовлені із сірого чавуну, піддаються термічній втомі саме через змінні температурні режими у процесі роботи пожежної техніки [6]. До того ж, деталі можуть контактувати з агресивними речовинами — продуктами згоряння, корозійними реагентами або водою з хімічними домішками — що пришвидшує корозійне руйнування та знижує ресурс матеріалів.

Важливо враховувати, що комбіновані впливи — механічні, термічні, корозійні — можуть взаємодіяти між собою, посилюючи загальний знос. Матеріали, які ефективно витримують механічні навантаження, можуть можуть реагувати на нагріванні чи піддаватись впливу корозії. Тому при виборі конструкційних матеріалів для пожежної техніки потрібно враховувати весь спектр можливих впливів — механічних, теплових, хімічних. Також важливі методи покращення

— зміцнення поверхні, захисні покриття, використання сплавів або композитів з підвищеною стійкістю. Сучасні підходи поєднують моделювання, експериментальні випробування та довготривалу експлуатаційну перевірку (моніторинг) для оцінки стійкості матеріалів [7].

Своєчасне технічне обслуговування та моніторинг стану конструкційних матеріалів є важливою умовою запобігання передчасному зношуванню і підвищення безпеки експлуатації пожежних автомобілів. Комплекс таких заходів передбачає регулярну діагностику зварних з'єднань, контроль цілісності антикорозійних покриттів і перевірку стану інших критичних елементів конструкції.

Як приклад сучасного пожежно-рятувального автомобіля, призначеного для гасіння пожеж та проведення рятувальних робіт, можна навести автомобіль, виготовлений на базі MAN (рис. 1). Усередині нього розміщено велику кількість професійного рятувального обладнання, зокрема ручний комбінований гідравлічний інструмент. Такі автомобілі виготовляє компанія Validus Special Auto — національний виробник спеціалізованих транспортних засобів для ДСНС України, Національної поліції та інших структур спеціального призначення. Підприємство, засноване 29 серпня 2012 року, спеціалізується на розробленні та виробництві техніки, спрямованої на збереження людських життів.



Рисунок 1. Пожежно-рятувальний автомобіль на базі MAN, призначений для гасіння пожеж та проведення рятувальних робіт [8].

Застосування сучасних технологій у процесах виробництва та обробки матеріалів забезпечує отримання конструкцій із підвищеними показниками міцності, твердості та зносостійкості. Використання таких інновацій сприяє зростанню ефективності, надійності та довговічності пожежних автомобілів під час роботи в екстремальних умовах експлуатації [9–15].

Важливим є дотримання рекомендацій виробників щодо експлуатації та обслуговування матеріалів та компонентів пожежних автомобілів. Це дозволяє зберігати їхні експлуатаційні характеристики на високому рівні протягом усього терміну служби [16–20].

Використання сучасних матеріалів (композитних, полімерів) значно підвищує стійкість конструкційних елементів пожежних автомобілів до зношування. Необхідно враховувати особливості їх експлуатації та можливі зміни властивостей під впливом високих температур та агресивних поверхнево активних середовищ [21–27].

Таким чином, забезпечення стійкості конструкційних матеріалів пожежних автомобілів до експлуатаційного зношування є комплексним завданням, що включає добір якісних матеріалів, дотримання стандартів та нормативів, регулярне технічне обслуговування та впровадження сучасних технологій. Комплексний підхід дозволяє гарантувати надійність та безпеку пожежної техніки в умовах інтенсивної експлуатації.

Список використаних джерел

1. Попович В.В., Ренкас А.Г. Пожежні автомобілі (Частина 1). – Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2011. - 100 с.

2. Пожежні машини: навч. посіб. / О.М. Ларін, В.Г. Баркалов, С.А. Виноградов, А.Я. Калиновський, О.М. Семків. – Х.: НУЦЗУ, КП "Міська друкарня", 2016. – 279 с.

3. Лаврівський М.З. (Львівський ДУ БЖД) Тенденції розвитку автомобілів для ліквідації надзвичайних ситуацій. Збірник науково-технічних праць. Національний лісотехнічний університет України. С. 104 -109.
https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2009/19_2/104_Lawriwskyj_19_2.pdf

4. Балицька В., Балицький О., Колесніков В. Експлуатаційна довговічність конструкційних матеріалів пожежних автомобілів // Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Полтава, 20–21 березня 2025 р.). Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2025. С. 294–299.

5. Roszkos C., Bocko J., Kula T. Fatigue Analysis of a Fire Truck Drop Tow Hitch for an O1 Category Water Pump Trailer. American Journal of Mechanical Engineering. 2016; 4(7):312-319. doi: 10.12691/ajme-4-7-15.

6. Bagnoli, F., Dolce, F., & Bernabei, M. (2009). Thermal fatigue cracks of fire fighting vehicles gray iron brake discs. Engineering Failure Analysis, 16(1), 152–163. ISSN 1350-6307. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.01.009

7. Un, C.; Aydın, K. Modernization of Fire Vehicles with New Technologies and Chemicals. Vehicles 2023, 5, 682-697. https://doi.org/10.3390/vehicles5020037

8. Validus Special Auto. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vsauto.com.ua (дата звернення 07.10.2025).

9. Silva, F.; Raposo, J.; Farinha, J.T.; Raposo, H.; Reis, L. Study of the Condition of Forest Fire Fighting Vehicles. Fire 2023, 6, 274. https://doi.org/10.3390/fire6070274

10. Jankauskas, V.; Žunda, A.; Katinas, A.; Tučkutė, S. Wear Study of Bulk Cargo Vehicle Body Materials Used to Transport Dolomite. Coatings 2025, 15, 227. https://doi.org/10.3390/coatings15020227

11. Firefighting equipment: The recent trends. URL: https://www.isrmag.com/firefighting-equipment-the-recent-trends/

12. The Future of Firefighting: Technologies Transforming Industrial Fire Safety. URL: https://firepreventionindia.com/the-future-of-firefighting-technologies-transforming-industrial-fire-safety/

13. Australasian Fire and Emergency Service Authorities Council. People in Vehicles During Bushfires (AFAC Publication No. 3008); AFAC: Melbourne, Australia, 2018.

14. Гуліда Е.М., Сабіров Є.М. Надійність багатофункціональної пожежної техніки. Пожежна безпека №5, 2004, С. 31-35.

15. Технічні вимоги. Пожежні автомобілі для пожежогасіння та проведення рятувальних робітURL: https://dsns.gov.ua/upload/1/1/9/9/2/2021-5-1-3-texnicni-vimogi.pdf.

16. Жуков В.В., Колесніков В.О., Балицька В.О. Аварійно-рятувальні автомобілі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 110–113.

17. Еліаш Я. Балицький О., Гаврилюк М., Колесніков В., Балицька В. Екологічно чисті змащувально-охолоджуючі рідини на базі рослинних олій // Монографія “Проблеми хімотології та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів” / За заг. ред. С.Бойченка – Центр учбової літератури. Київ, 2017. – С. 418-422.

18. Balitskii A., Hawrilyuk M., Eliasz J., Balitska W., Kolesnikow W. Oddziaływanie wodoru na kształtowanie i odprowadzenie wiórów w obróbce skrawaniem stali wysokostopowych z użyciem ekologicznych cieczy smarująco-chłodzących // Obrobka skrawaniem – 10. – Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Jana Burka // X Szkola Obrobki Skrawaniem, Rzeszow-Lancut, 2016. – S. 447-452.

19. Balitskii A., Hawrilyuk M., Eliasz J., Balitska W., Kolesnikow W. Oddziaływanie wodoru na kształtowanie i odprowadzenie wiórów w obróbce skrawaniem stali wysokostopowych z użyciem ekologicznych cieczy smarująco-chłodzących // Mechanik. – 2016. – N 10. – S. 1412-1413. http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2016.10.387.

20.Прохорова Т. В., Перчемлі І. Ф., Колесніков В. О. Матеріали та технології в автомобільній промисловості // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали V-ї міжнар. наук.-практ. конф. (13–14 квіт. 2017 р., Вінниця). Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 105–112.

21.Балицький Олександр, Балицька Валентина, Колесніков Валерій, Еліаш Яцек. Застосування комплексного підходу для оцінки якості стану матеріалу деталей та вузлів в енергомашинобудуванні та транспортних галузях для підвищення безпеки життєдіяльності. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: ІІІ Міжн. науково-практичн. конф., 20-21.03.2023 року: матеріали. Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. С. 371-373.

22.Татарінов В.Р., Бердус А.Ю., Кравцов О.В., Колесніков В.О. Сучасні матеріали для автомобілебудування // Матеріали регіональної науково-практичної конференції професійна освіта на Луганщині: теорія та практика 15–17 квітня 2014 року. м. Луганськ. - С. 218 - 223.

23.О.І. Балицький, В.О. Колесніков, М.Р. Гаврилюк, Л.М. Іваськевич, В.О. Балицька. Фрактографічні дослідження частинок зношування високоазотних хромомарганцевих сталей як індикаторів руйнування в транспортній та енергомашинобудівних галузях. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023.

24.Н.О. Бикадорова, В.О. Колесніков, В.В. Бурдун, В.О. Балицька. Застосування комп'ютерного моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 60-62.

25.Балицький О.І., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Гаврилюк М.Р., Балицька В.О. Ідентифікація пошкоджень на поверхнях виробів енергомашинобудування. «Актуальні питання експертної та оціночної діяльності»: матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції (м.Полтава, 26–27.09.2024 року). Харків: Вид-во Іванченка І. С., 2024. С. 40 – 45.

26.Бикадорова Н.О., Бурдун В.В., Балицька В.О. Комп'ютерне моделювання як засіб для підвищення безпеки на автомобільному транспорті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 44–47.

27.Балицька В. О., Балицький О. І., Колесніков В. О. Стійкість конструкційних матеріалів пожежних автомобілів до експлуатаційного зношування // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15–17 квітня 2025 року: зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 42–47.

Балицька Валентина Олексіївна – к.фіз.-мат.н., доцент кафедри фізики та хімії горіння інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, м. Львів.

Балицький Олександр Іванович – д.т.н., проф. провідний науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів, професор кафедри експлуатації автомобілів Західнопоморського технологічного університету у Щеціні, м. Щецін, Республіка Польща.

Колесніков Валерій Олександрович – к.т.н., доцент кафедри технологій виробництва та професійної освіти, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни.

Balitska Valentina O. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Combustion Physics and Chemistry, Institute of Fire and Technogenic Safety, Lviv State University of Life Safety, Lviv.

Balitskii Olexsandr I.– professor, leading researcher at the Department of strength of materials and structures in hydrogen-containing environments Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Department of Vehicle Operation West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Szczecin, Poland.

Kolesnikov Valerii O. – PhD in Engineering sciences of the Department of Production Technologies and Professional Education, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava.

УДК 629.3

Д.Б. Бегерський, І.В. Вітюк, А.О. Коваль

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДСТАНІ МІЖ КАБІНОЮ ТА НАПІВПРИЧЕПОМ НА АЕРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР МАСШТАБНОЇ МОДЕЛІ АВТОПОЇЗДА

У роботі обґрунтовано необхідність експериментального дослідження впливу відстані між кабіною тягача та напівпричепом (міжкабінного зазору) на аеродинамічний опір автопоїзда. Запропоновано методику фізичного експерименту на масштабній моделі в аеродинамічній трубі відкритого типу. Вимірювання сили опору здійснюються тензодатчиком за сталих умов потоку. Описано склад установки без подання числових результатів (даний етап дослідження). Очікуваний результат — метрологічно відтворювана залежність опору від відстані між кабіною і напівпричепом, придатна для валідації CFD та формування конструкторських рекомендацій щодо зниження опору.

Ключові слова: *аеродинамічна труба, відкритий тип, автопоїзд, міжкабінний зазор, тензодатчик, сила опору, масштабна модель, відтворюваність.*

The paper substantiates the need for experimental research into the influence of the distance between the tractor cab and the semi-trailer (inter-cab clearance) on the aerodynamic drag of a road train. A physical experiment method is proposed on a large-scale model in an open-type wind tunnel. The drag force is measured by a strain gauge under steady flow conditions. The setup is described without presenting numerical results (this stage of the study). The expected result is a metrologically reproducible dependence of drag on the distance between the cab and the semi-trailer, suitable for CFD validation and the formation of design recommendations for reducing drag.

Keywords: *wind tunnel, open type, road train, inter-cabin clearance, strain gauge, drag force, scale model, reproducibility.*

Вступ. Простір між кабіною тягача та напівпричепом є однією з ключових зон формування аеродинамічних втрат у магістральних автопоїздів [1, 3]. Наявність відривів і зон рециркуляції в цьому проміжку призводить до збільшення лобового опору, підвищення витрати пального та зростання рівня викидів. Попри значну увагу до зовнішньої аеродинаміки в цілому, відкритих і відтворюваних експериментальних даних саме щодо міжкабінного зазору небагато, а промислові дослідження часто залишаються не публічними. Це ускладнює як валідацію чисельних моделей, так і розроблення конструктивних рішень (мінімізація зазору, застосування екранів чи адаптивних вставок). Відтак необхідний цілеспрямований фізичний експеримент із прозорою методикою та метрологічно контрольованими умовами.

Експериментальна установка: аеродинамічна труба та модель

Аеродинамічна труба відкритого типу. Побудована на базі металевого профілю і вентилятора (рис. 1) [1, 2]. Для вирівнювання потоків повітря зроблений дифузор. Саме така конструкція обрана через її дешевизну і простоту, і в той же час достатню точність, а також відсутність ефекту стінок.

Масштабна модель. 3D-друкований макет автопоїзда(рис.2) з рознімним вузлом «кабіна—напівпричіп» фіксується на установці на станочних профілях 2020. Передбачено жорстке позиціонування (кут атаки 0°±0,1°) і центрування в перерізі робочої частини.

Принцип вимірювання. Тензометричний датчик осьового навантаження змонтовано у задній частині установки для реєстрування навантаження. Фіксація результату проводиться мікросхемою на базі Arduino, яка формує масив даних під час роботи(рис.3). Точність вимірювань становить 0,01 грам.

Вимірювання параметрів потоку. Швидкість потоку фіксується анемометром, і додатково реєструються температура і тиск(рис. 4).

Очікуване узгодження з CFD. За результатами експериментальної програми очікується збіг із CFD-моделюванням із точністю до 5 % за силою опору всьому досліджуваному діапазоні міжкабінного зазору за умови дотримання критеріїв якості потоку (однорідність $\leq \pm 2$ %, інтенсивність турбулентності ≤ 2 %), коректного калібрування тензодатчика та ізолювання від зовнішніх умов [1].



Рисунок 1 - Аеродинамічна труба відкритого типу



Рисунок 2 - Масштабна модель автопоїзда

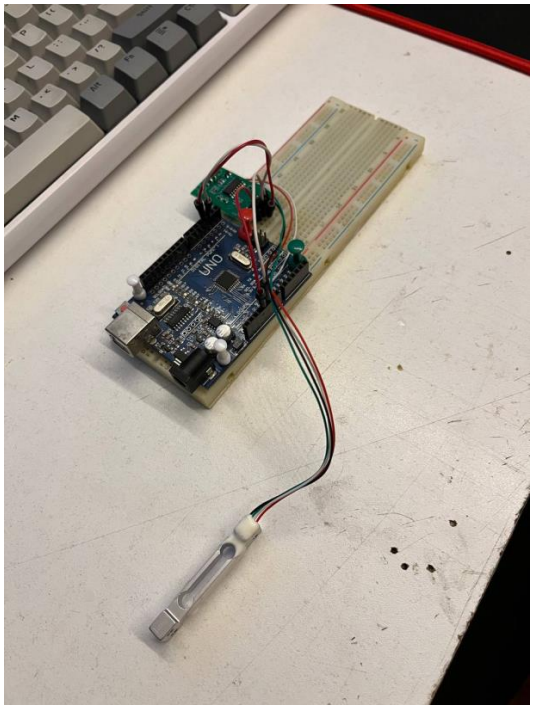


Рисунок 3 - Тензодатчик з мікросхемою



Рисунок 4 - Анемометр

Висновки. Проведений експеримент є кроком до формування основи для подальших аеродинамічних досліджень. Запропонована установка забезпечують відтворюваність і прозорість процедур, що підсилює довіру до отримуваних даних і створює підґрунтя для узгодження фізичних вимірювань із чисельними оцінками.

Результати експерименту корелюються з CFD-моделлю та мають потенціал стати еталонними для валідації моделей і прийняття конструктивних рішень, а також для побудови узагальнених залежностей, придатних до подальшого масштабування та перенесення у практичні застосування. У сукупності це зміцнює доказову базу, необхідну для впевненого переходу від теоретичних припущень до інженерної практики.

Список використаних джерел

1. Beherskyi D., Vitiuk I., Koval A., Golubovskyi A., Perehuda M. Justification of choosing a reasonable distance between the driver's cabin and the semi-trailer to reduce the aerodynamic resistance of the vehicle. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 1. №1 (133). pp. 44–51. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.320494

2. Опанасюк Є.Г., Бегерський Д.Б., Можаровський М.М., Опанасюк О.Є. Дослідження аеродинамічних показників автопоїзда методом фізичного моделювання/ «Вісник Житомирського державного технологічного університету». 2019. № 1 (83). С. 25 – 34.

3. Бегерський Д. Б., Вітюк І. В., Коваль А. О., Цимбал С. В. Вплив геометричних параметрів автопоїзда на його аеродинамічні характеристики. Вісник машинобудування та транспорту. 2023. Том 18 №2. С. 10–15. DOI: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-10-15

Бегерський Дмитро Богданович - к.т.н., доцент кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: begerskiy@gmail.com

Вітюк Іван Васильович – старший викладач кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: vnvik74@gmail.com

Коваль Андрій Олегович – аспірант кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: phd274223_kao@student.ztu.edu.ua

Dmytro Beherskyi B. - candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Automobile Transport, State University Zhytomyr Polytechnic, Zhytomyr, e-mail: begerskiy@gmail.com

Ivan Vitiuk V. - senior lecturer of the Department of Mechanical Engineering and Automobile Transport, State University Zhytomyr Polytechnic, Zhytomyr, e-mail: vnvik74@gmail.com

Andrii Koval O. - postgraduate of the Department of Mechanical Engineering and Automobile Transport, State University Zhytomyr Polytechnic, Zhytomyr, e-mail: phd274223_kao@student.ztu.edu.ua

УДК 656.078

О.М. Берчій, В.О. Огневий

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА НА АВТОМОБІЛЯХ

Розглянуто існуючі методи визначення витрат палива на автомобілях. Запропоновано оптимальний для спеціальних автомобілів призначених для збирання та транспортування твердих побутових відходів.

Ключові слова: *автомобіль, витрата палива, метод, тверді побутові відходи, аналіз.*

Existing methods for determining fuel consumption in vehicles are considered. An optimal one is proposed for special vehicles intended for the collection and transportation of solid household waste.

Keywords: *car, fuel consumption, method, solid waste, analysis.*

Існують різні методи визначення витрати палива. На автомобільному транспорті для визначення експлуатаційної витрати палива набули поширення такі методи:

1. об'ємний, за рівнем палива в баку;
2. об'ємний, з використанням витратомірів палива;
3. з використанням бортових систем контролю;
4. "Доливкою до повного";
5. Масовий (ваговий).

Обсяг палива в баку автомобіля визначається за допомогою датчика рівня палива. Може застосовуватися як штатний датчик покажчика рівня палива, так і додатковий - у системах контролю витрат палива і моніторингу транспорту.

Існує кілька видів датчиків рівня палива: поплавковий резисторний - штатний; і позаштатні - поплавковий магнітострикційний, ємнісний і ультразвуковий [7].

За способом перетворення сигналу розрізняють: аналогові, частотні та цифрові. Аналогові датчики рівня палива прості за конструкцією і надійні в експлуатації, але схильні до впливу перешкод і стрибків напруги. Частотні - краще захищені від зовнішніх впливів і видають більш стабільні показання. Цифрові датчики рівня палива є найбільш точними. Вони захищені від зовнішніх факторів. Їхня вартість не значно перевищує вартість частотних або аналогових.

Точність методу визначається, в основному, метрологічними характеристиками вимірювального засобу - датчика рівня. Вимірювання фактичної витрати палива на автомобілі здійснюється за допомогою системи, що складається з двох основних підсистем - датчика рівня палива і модуля реєстрації, обробки, зберігання і передачі даних.

Основна складність під час використання цього методу - це апаратна реалізації другої підсистеми, тобто апаратури реєстрації, зберігання і дистанційного передавання даних [1].

На сьогоднішній день існує досить велика кількість різних за принципом роботи, формою та технічними здібностями витратомірів палива. Більшість витратомірів, що продаються на вітчизняному ринку, є імпортними виробами або частково, або повністю. Вітчизняні витратоміри, на жаль, поступаються імпортним, крім того їх кількість на ринку скорочується [3].

Датчик витрати палива є проточним приладом обліку загального обсягу палива, що проходить через камеру згоряння під час роботи транспортного засобу.

Існує 2 види витратомірів: однокамерні та диференціальні.

Однокамерні датчики витрати палива встановлюються на магістраль подачі палива в двигун. При цьому для коректного підрахунку палива на дизельному двигуні необхідно перенести зворотну магістраль, якою невитрачене паливо надходитиме в бак, до витратоміра.

Такі датчики коштують дешевше диференціальних і їх можна встановлювати на автомобілі, де конструкція двигуна дає змогу перенести зворотну паливну магістраль без наслідків, інакше необхідна установка диференціального датчика витрати палива.

Диференціальний датчик витрати палива - це двокамерний виріб, що складається з двох відкаліброваних однокамерних витратомірів, один з яких встановлюється на канал подачі палива, а інший - на канал "обратки" палива.

Вбудована електроніка враховує різницю між прямим і зворотним потоками палива і видає показник фактичної витрати.

Існує досить багато нюансів, пов'язаних із роботою витратомірів з двома датчиками, наприклад: проведення дослідів з енергетичної оцінки з лопатевими витратомірами на двигунах із системою Common Rail у більшості випадків не дає позитивних результатів. Під час роботи на холостому ходу розкручується більше датчик зливу палива в бак, і на початку досліду витратомір більше часу показує нуль. З усього вищевикладеного можна зробити висновок, що перераховані вище прилади для вимірювання витрати палива мають такі недоліки, як незручність експлуатації, відсутність обліку зливу палива з форсунок і ПНВТ, невеликий діапазон вимірювань та ін. [4]. Мобільні витратоміри мають низьку точність вимірювання споживання палива двигунами внутрішнього згоряння, а стаціонарні витратоміри, що мають досить високу точність вимірювань, непридатні під час дорожніх експериментальних досліджень. Найчастіше, вони використовуються при стендових випробуваннях за відсутності впливу дорожніх факторів (вібрацій і коливань автомобілів) [5].

Вимірювання поточної витрати палива та обчислення на її основі сумарного об'єму витраченого палива за допомогою цього методу, характеризується високою вартістю, вимогами до чистоти палива, залежністю показань від фізико-хімічних властивостей палива і низкою інших факторів, які стримують поширення цього способу контролю витрат палива [1].

Одним із можливих способів вимірювання є використання бортових систем контролю витрати палива автомобіля [7]. Досить велика кількість сучасних транспортних засобів мають на борту шину CAN (англ. Controller Area Network). Ця шина слугує для передавання інформації між різними пристроями та датчиками автомобіля, зокрема й інформації щодо витрати та рівня палива в баку.

Перевагою цього методу є відсутність необхідності додаткових датчиків.

Основний недолік цих систем у високій похибці вимірювань, оскільки вони призначені, в першу чергу, для вимірювання миттєвої витрати палива на основі показань датчика рівня палива в баку і датчиків системи управління подачею палива [3]. Також, застосування цього методу неможливе на транспортних засобах, у яких відсутня шина CAN, тобто на більшості спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ.

Суть методу "доливання до повного" зводиться до вимірювання кількості палива, що доливається в бак автомобіля до заповнення після закінчення виконання кількості транспортної роботи. Цей метод передбачає необхідність повністю заправити паливний бак пальним перед початком виконання транспортної роботи. Таким чином, кількість палива, що доливається буде відповідати витраті пального на транспортну роботу, що передувала доливці. Доливання перед і після транспортної роботи має здійснюватися на одному і тому ж майданчику, що дасть змогу виключити вплив нахилу автомобіля [6].

Однак, істотний недолік цього методу - це неприпустимо велике значення відносної похибки при певних (відносно малих) величинах пробігу, тобто при малій витраті палива. Також за такого методу випробувань виникають випадкові похибки, пов'язані з неточністю доливання бака і визначення рівня заповнення бака.

Масовий (ваговий) метод заснований на вимірюванні фактично витраченого палива автомобілем шляхом зважування вимірювальної ємності з паливом, при цьому робота двигуна здійснюється з даної вимірювальної ємності. Для зважування нафтопродуктів застосовуються шкальні або циферблатні ваги. Маса нафтопродукту визначається як різниця між масою брутто і масою тари. Для зниження впливу зовнішніх умов на похибку вимірювань вагові пристрої повинні бути захищені від вітру та опадів. Похибка вимірювань залежить від точності вагового обладнання. При цьому способі вимірювання існує можливість визначати досить малу зміну ваги палива, тобто невелику витрату.

Даний метод досить дешевий, не вимагає впровадження змін і додаткових пристроїв у конструкцію автомобіля, також має високу точністю.

За результатами аналізу було сформульовано критерії порівняння методів: точність, універсальність, простота впровадження, вартість. Дані аналізу методів вимірювання витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ були структуровані та подані в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати аналізу методів визначення витрати палива автомобілів.

Метод	Критерії порівняння			
	Точність при незначних змінах	Універсальність	Простота впровадження	Вартість
Об'ємний, по рівню палива в баку	Низька	Так	Важко	Середня
Об'ємний, з використанням витратомірів палива	Низька	Ні	Важко	Велика
З використанням бортових систем	Низька	Ні	Легко	Низька
«Доливанням до повного»	Низька	Так	Легко	Низька
Масовий (ваговий)	Висока	Так	Легко	Низька

За результатами проведеного аналізу було встановлено, що масовий (ваговий) метод вимірювання витрати палива під час проведення експериментальних досліджень на спеціальному автомобілі для збирання та транспортування ТПВ під час роботи в технологічному режимі експлуатації є найкращим.

Список використаних джерел

1. Колосюк, Д. С., Зеркалов, Д. В. Експлуатаційні матеріали: Підручник. Київ: Арестей, 2006. - 260 с. 17.Антипенко, А. М., Сорокін, С. П., Поляков, С. О. Властивості та якість паливомастильних матеріалів. Харків : ЧП Червяк, 2006. - 213 с.

2. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні: властивості та якість. Підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Йосип Любінін, Казимир Лейда; за редакцією проф. С. Бойченка. – К.: «Центр учбової літератури», 2019. – 323 с.

3. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення./ Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 500 с.

4. Полякова О. В. Технологія виробництва мастильних матеріалів: навч. посібник / О. В. Полякова. – К.: НАУ, 2015. – 132 с.

5. Полянський, С. К., Коваленко, В. М. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин : Підручник. Київ : Либідь, 2005. - 504 с

6. Топільницький П.І. Фізико-хімічні там експлуатаційні властивості товарних нафтопродуктів. – Львів. – 1015. – 248 с.

7. Червінський Т.І, Топільницький П.І, Ярмола Т.І. Експлуатаційні матеріали для автотехніки. Навч.посібник. Львів: видавництво «Левада». 2020. – 326 с.

Берчій Олег Миколайович **–** магістрант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: berchiy@vntu.edu.ua

Огневий Віталій Олександрович **–** к.е.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Ognevoy@ukr.net

Berchiy Oleg Mykolayovych – master's student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: berchiy@vntu.edu.ua

Ognevoy Vitaliy Oleksandrovych – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Ognevoy@ukr.net

УДК 656.1/004.77

П.В. Бех, О.В. Лашков

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ

Розглянуто доцільність застосування сучасних інформаційних систем та комп'ютерних технологій для оптимізації доставки вантажів автомобільним транспортом. Запропоновано використання технології крос-докінг, використання сучасних телематичних рішень та автоматизації логістичних процесів за допомогою штучного інтелекту.

Ключові слова: *автомобільні перевезення, логістичні технології, інформаційні технології, штучний інтелект, телематика, цифровізація.*

The feasibility of using modern information systems and computer technologies to optimize the delivery of goods by road is considered. The use of cross-docking technology, the use of modern telematics solutions, and the automation of logistics processes using artificial intelligence are proposed.

Keywords: *road transportation, logistics technologies, information technologies, artificial intelligence, telematics, digitalization.*

Завдяки активному інформаційному обміну в мережі, логістика все тісніше пов'язується і все частіше асоціюється з розробкою складних проектів доставки-розподілу товарів, ресурсів. Функціональна і структурна складність сучасних транспортно-логістичних мереж обумовлює особливі вимоги до обсягів, якості і швидкості передачі і обробки інформації. Ці вимоги задовольняються шляхом впровадження системи EDI на локальних і глобальних рівнях, а також за рахунок істотного розширення спеціалізованого інформаційно-організаційного сервісу.

На основі інтегрованих логістичних рішень, високого ступеня інформатизації процесу перевезень можлива реалізація таких новітніх технологій, призначених для впровадження в ланцюги доставок, як крос-докінг. Крос-докінг – рух вантажів через склад на пряму, фактично без його розміщення на зберігання. Дуже часто під крос-докінгом розуміють пряме перевантаження вантажу між транспортними засобами або товароносіями. При використанні цієї технології відвантаження із складу і доставка товарів максимально точно узгоджуються за часом. У результаті продукція (вантаж) доставляється за мінімальний строк. Зберігання товару (вантажу) на складі при цьому повністю виключено.

Якщо розглядати крос-докінг, то нічого інноваційного в даному процесі не має. Це адаптована під складські операції виробнича система Just-in-Time, коли знижуються витрати на зберігання шляхом здійснення операції без пауз і зупинок в процесі руху вантажу. Зрозуміти, як і за який рахунок, це досягається, а також що для цього потрібно змінити в різних ланках ланцюга поставок, простіше, якщо розглянути схему наскрізного складування.

Крос-докінг проходить в один або два етапи:

- одноетапний крос-докінг – відправник адресує вантаж визначеному отримувачу, і вантаж проходить через склад як окреме замовлення, без змін;
- двоетапний крос-докінг – партія вантажу надходить на склад в якості логістичної одиниці, проходить переформування – або поділяється на дві групи для доставки в різні точки, або збирається в єдиний блок (логістичну одиницю) разом з іншими частинами цього ж замовлення.

Для обґрунтування та вибору основних принципів побудови системи управління транспортом необхідне вирішення ряду задач, що складаються з:

- вибору технологічних методик, реально функціонуючих зараз на транспорті, з організації та координації їх взаємовідношень;
- оцінки обраних методик на предмет достатності та доцільності їх технологічних рішень для координації, виходячи з таких класифікаційних ознак – рівень управління, управляючий суб'єкт, об'єкти управління, метод і функції управління, критерії управління, що досліджуються, та інше;
- оцінка корисності рішень, які покладені в основу роботи цих технологій, а також визначення недоліків з метою їх подальшого усунення;
- аналізу необхідності та можливості створення системи з використанням сучасних інформаційних технологій, баз знань та експертних систем;

- конкретизації інтерфейсних границь та зв'язків загальної області діяльності, яка підлягає управлінню за критеріями узгодженості та ефективності управління.

Разом із розвитком інтернету, штучного інтелекту (ШІ) та рішень для обробки даних і управління на основі хмарних обчислень, можливості цифровізації та автоматизації транспорту постійно зростають.

Цифровізація автомобільного транспорту означає використання сучасних технологій для збору, обробки та обміну даними, пов'язаними з виконанням транспортних замовлень. На практиці це часто пов'язано з поточними даними про перевезений вантаж, використовуваний транспортний засіб, маршрут, робочий час водія, а також про виконану роботу. З іншого боку, автоматизація використовує інструменти для усунення або максимального обмеження участі людини в окремих процесах, що позитивно впливає на якість обслуговування та значно знижує ризик людських помилок.

Телематика та TMS (Transport Management System) незмінно відіграють важливу роль. Телематичні рішення, такі як Gbox Assist, дозволяють операторам контролювати найважливіші параметри, наприклад, споживання палива та відстежувати робочий час своїх водіїв. Говорячи про новинки, варто згадати також ETA, тобто орієнтовний час прибуття в пункт призначення. ETA Smart – функціональність від Inelo Group – є передовим прикладом цієї технології, яка не тільки забезпечує детальну оцінку часу прибуття, але також враховує робочий час і включає обов'язковий відпочинок.

У свою чергу, системи TMS є інструментами, які пропонують такі функції, як автоматизація логістичних процесів, наприклад планування та організація перевезень, призначення та відстеження замовлень, а також ведення документації. Програмне забезпечення, таке як, наприклад, fireTMS, пропонує ряд сучасних опцій для експедирування, логістики та обліку, а також функціональні можливості для покращення та прискорення контакту з водієм.

Список використаних джерел

1. Razghonov, S., Lesnokova, I., Khalipova, N., Kuzmenko, A., Kuznetsov, V., Chernikov, D., Zvonarova, O., Prokhorchenko, H.,Horulia, M., Bekh, P. Building models to optimize vehicle downtime in multimodal transportation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, 3(3(123)), p. 68–76. doi: https://doi.org/10.15587/1729- 4061.2023.283172.

2. Вступ до організації перевезень автомобільним транспортом: навчальний посібник / А.В. Сохацький, П.В. Бех, А.І. Кузьменко, О.В. Лашков, Є.А. Максименков; за заг. ред. А. В. Сохацького. Дніпро : Університет митної справи та фінансів, 2024. – 186 с.

3. James Richardson, Rita Sallam, Kurt Schlegel, Austin Kronz, Julian Sun, Magic Quadrant for Business Intelligence and Analytics Platforms [Електронний ресурс]. / Gartner - 2020 – Режим доступу: https://www.gartner.com/en/documents/3980852/magic-quadrant-for-analytics-and-business-intelligence-p (дата звернення 12.09.2025).

4. Analytics Trends to Be Explored at Gartner Data & Analytics Summits 2017 [Електронний ресурс]. // - Режим доступу: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-02-17-gartner-says-worldwide-business-intelligence-and-analytics-market-to-reach-18-billion-in-2017 (дата звернення 14.09.2025).

Бех Петро Вікторович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортного сервісу та логістики, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, e-mail: bekhpit@gmail.com

Лашков Олександр Васильович **–** б/с, б/з, старший викладач кафедри транспортного сервісу та логістики, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, e-mail: lashkovov@gmail.com

Bekh Petro V. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport service and logistics, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, e-mail: bekhpit@gmail.com

Lashkov Alexander V. **–** without a degree, without academic title, senior lecturer of the Department of Transport service and logistics, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, e-mail: lashkovov@gmail.com

УДК 656.078

В.В. Біліченко, А.Г. Бруй

ІНТЕГРАЦІЯ СУХИХ ПОРТІВ У НАЦІОНАЛЬНУ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНУ СИСТЕМУ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ

Оглянуто сучасний стан інтеграції сухих портів в національну транспортно-логістичну систему України. За результатами останніх досліджень у сфері транспортування контейнерів в передових країнах світу ідентифіковано головні інфраструктурні, регуляторні й організаційні виклики та запропоновано практичні рекомендації для підвищення ефективності мультимодальних перевезень в умовах повномасштабного вторгнення шляхом використання сухих портів.

Ключові слова: *сухий порт, мультимодальні перевезення, логістика, вантажні перевезення, ланцюги постачання, стійкість транспортної системи.*

The current state of integration of dry ports into the national transport and logistics system of Ukraine is reviewed. The main infrastructural, regulatory and organizational challenges are identified and practical recommendations are proposed for increasing the efficiency of multimodal transportation in the conditions of a full-scale invasion by using dry ports.

Keywords: *dry port, multimodal transportation, logistics, freight transportation, supply chains, transport system sustainability.*

В умовах повномасштабної війни логістика України зазнала серйозних потрясінь: блокування морських портів, руйнування інфраструктури, необхідність в альтернативних маршрутах. Зросла роль внутрішніх та прикордонних логістичних хабів для підвищення стійкості ланцюгів постачання. Критичними вузлами для перенаправлення контейнерних потоків, зниження залежності від стану морських перевезень і підвищення гнучкості мультимодальної транспортної системи можуть виступати саме сухі порти [1][2].

Сухі порти - це інтермодальні логістичні майданчики, які поєднують залізничні та автомобільні канали транспортування із морським чи авіаційним терміналом, надають митні та складські послуги ближче до виробників або споживачів, та слугують буфером у випадках збоїв чи обмежень у роботі морських портів а також за фактичної відсутності авіатранспортування [1][2].

Останнє дослідження «Resilience Analysis of Seaport–Dry-Port Network in Container Transport: Multi-Stage Load Redistribution Dynamics Following Cascade Failure» (2025) моделює мережу морських і сухих портів, демонструючи, що сухі порти можуть суттєво зменшувати ефект каскадних збоїв, за умови правильного розташування і вчасного реагування [1]. Інше дослідження – «Port resilience: a systematic literature review» (2025) аналізує, як організаційні стратегії, технології та інтегровані підходи збільшують стійкість транспортних систем, включно з сухими портами як компонентами мережі [1][3]. В Україні: дослідження “Improvement of the logistics of container transportation at border stations and terminals” (2023-2024) розглядає, як оптимізувати залізничні підходи та маршрути на кордонах, що є актуальним для сухих портів як вузлів інтеграції з транспортною системою Європейський країн [4].

Аналізуючи вищенаведені дослідження та сучасну аналітику, було проведено порівняння підходів та методів оптимізації розміщення сухих портів, сформульовано рекомендації на основі системного та сценарного аналізу. Основа - концептуальні дослідження існуючих сухих портів, моделі оптимізації вантажопотоків та аналітичні звіти щодо логістики України[3][4][5].

Варто виділити ряд ключових факторів, на яких було зосереджено нашу увагу.

Роль сухих портів для стійкості мережі:

Інтеграція сухих портів у транспортно-логістичну систему України допоможе запобігти або зменшить вплив від таких викликів як:

- дефіцит пального для автомобільного транспорту (за рахунок збільшення долі залізничних перевезень);
- руйнування важливих дорожніх розв’язок і мостів (як через військову агресію так і з причин зносу);

- перевантаження припортових автошляхів, руйнування доріг вантажним транспортом, обмеженні можливості руху через перегрів дорожнього полотна в літню, та сніжних заметів в зимню пори року.

Моделювання показує: мережі «морський порт - сухий порт» значно підвищують стійкість ланцюгів до локальних збоїв (затримки в роботі або зупинка порту) шляхом перерозподілу потоків, однак це потребує продуманого балансування завантаженості і наявних резервних пропускних потужностей, що вимагає значних інвестицій у залізничні і автомобільні шляхи та інтелектуальні системи управління [4][5].

Організаційні виклики:

Аналітичний огляд стану транспортно-логістичної системи України в 2024–2025 рр. підкреслює: ключові обмеження - фрагментація управління інфраструктурою, дефіцит капіталовкладень у залізничні шляхи та транспортні хаби, нормативні невідповідності та необхідність інтеграції цифрових стандартів між учасниками (оператори, митниця, прикордонна служба) [1].

Військові ризики:

Під час повномасштабного військового вторгнення рф, за умов регулярних повітряних атак, сухі порти також потрапляють у зону високого ризику, оскільки можуть бути атаковані як важливий елемент ланцюгів постачання та економічної стійкості України. Це потребує підвищених мір безпеки при географічному розміщенні та внутрішньому плануванні сухих портів. Наявність укриттів для персоналу, розміщення сил та засобів протиповітряної (антидронової) оборони в близькості до сухих портів стає вимушеною необхідністю в наших умовах.

Таким чином, сухі порти перетворюються з «логістичних розвантажувачів» у багатофункціональні вузли (митні послуги, сортування, довгострокове зберігання, цифрова координація). Тобто вони стають продовженням морських шляхів постачання як вглиб країни, так і в зворотньому напрямку, з широким набором сервісів, які зменшують транзакційні витрати та перевантаження припортової інфраструктури і автошляхів [3].

Для досконалої інтеграції сухих портів у національну транспортно-логістичну систему України підготовлено наступні рекомендації:

1. Нормативно-правове упорядкування: затвердити чітке визначення «сухого порту» в національному законодавстві, впровадити стандарти електронного документообігу між сухими портами, митницею й операторами контейнерних ланцюгів (сумісні з технічними стандартами ЄС).

2. Інвестиції в інфраструктуру з пріоритетом на автошляхи та залізницю: будівництво або модернізація під'їзних шляхів до сухих портів та розвиток інтермодальних терміналів з високою пропускною здатністю. Планування має спиратися на моделі оптимізації вантажних потоків (mixed integer programming, моделі розвантаження) для уникнення «вузьких місць», де складно забезпечити резервні шляхи сполучення.

3. Цифровізація та аналітика: розгортання єдиних систем відстеження контейнерів, обміну електронними документами та аналітичних платформ для прогнозування завантаженості (тобто перетворити сухий порт на «розумний» хаб). Це дозволить динамічно перерозподіляти потоки й швидко реагувати на збої.

4. Сценарне планування та підвищення стійкості: впровадити механізми резервування (альтернативні маршрути, тимчасові хаби), розробити план дій на випадок критичних інцидентів (війна, блокування коридорів), використовуючи підходи мережевої стійкості.

5. Інституційна координація та інструменти фінансування: створити міжвідомчу платформу для координації інвестицій (Міністерство інфраструктури + Міністерство економіки + міжнародні донори) та впроваджувати механізми державно-приватного партнерства для часткового перерозподілу ризиків. (Підтверджено рекомендаціями аналітичних звітів та світовим досвідом). [6]

6. Стратегічне планування: під час розбудови системи сухих портів в Україні доцільно зосередити увагу на центральних та західних областях. Враховуючи переорієнтацію товарообігу на європейський напрямок та велику протяжність нашої країни із заходу на схід, зважаючи на малу кількість морських портів, які знаходяться на півдні країни, таке розміщення забезпечить ефективну інтеграцію з транспортною системою ЄС, мінімізує ризики, пов'язані з вразливістю

від воєнних атак на сході та дозволить використовувати потенційне прикриття систем протиповітряної оборони Укаїни й НАТО (зокрема в західному прикордонні).

Висновок. Інтеграція сухих портів в національну транспортно-логістичну систему України – стратегічно важлива задача для забезпечення стійкості імпорту/експорту та відновлення логістичних ланцюгів. Її успіх залежить від поєднання: (а) нормативного врегулювання і цифрових стандартів; (б) інвестицій у залізничну інфраструктуру та інтелектуальні системи; (в) інституційної координації й сценарного планування під час економічних потрясінь та загрози військових атак. Реалізація запропонованих кроків дозволить зробити сухі порти ефективними мультиплікаторами логістичної стійкості та економічного відновлення.

Список використаних джерел

1. World Bank – Ukraine's Transport and Logistics System: Current and Prospective Opportunities and Challenges (Звіт організації, Червень 2025).

2. 2. B.P. Martin, M.A. Faure, F. Cremaschini, C. Ducruet – The case of the Ukrainian Maritime network (Journal of Transport Geography Volume 128, October 2025, https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2025.104342)

3. R.M. Zain, N.H.M. Salleh, I.M. Zaideen, M.S. Menhat, J. Jeevan – Dry ports: Redefining the concept of seaport-city integrations (ScienceDirect, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100112) – концептуальний огляд функцій і ролей dry-портів.

4. A. Sciomachen, G. Stecca – Forwarding containers to dry ports in congested logistic networks (ScienceDirect, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100846) – моделі оптимізації потоків та вплив на мережу.

5. Z. Lu,W. Qiu - Resilience Analysis of Seaport–Dry-Port Network in Container Transport (MDPI Systems, School of Economics and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China 2025) – моделі каскадних збоїв і підвищення стійкості мереж.

6. В. В. Біліченко, А.Г. Бруй - Моделі управління сухими портами у світі: переваги, недоліки та перспективи для України (Матеріали XIII міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту» 15-17 квітня 2025 р., Вінниця, ВНТУ)

7. Muradian, A., Kuzkin, O., Remzina, N. - Logistics of Smart Port in Ukraine: Problems and Prospects in the Conditions of Sustainable Development. (Problemy Ekorozwoju, 2024. DOI: https://doi.org/10.35784/preko.4036)

8. Д. Ломотко, Д. Ковальов - Удосконалення логістики контейнерних перевезень на прикордонних станціях та терміналах. (Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Том 28 № 2 (2023). DOI: https://doi.org/10.18664/ikszt.v28i2.283289)

9. O. Kuzmenko, V. Kuzmenko, I. Bezuhlova - Main Directions of Sea Freight Development in Ukraine: Formation of New Logistics Hubs Vol. 6 No. 180 (2023): Series: Engineering science and architecture. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-237-243)

Біліченко Віктор Вікторович – д-р техн. наук, професор, ректор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

Бруй Андрій Геннадійович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: andreygt@ukr.net

Bilichenko Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

Brui Andrii G. – Postgraduate Student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andreygt@ukr.net

УДК 629.33:629.391.3

В.В. Біліченко, Д.М. Матвійчук

ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ПАРАМЕТРИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Розглянуто вплив параметричного діагностування технічного стану транспортних засобів на стабільність функціонування рухомого складу автомобільного транспорту. Показано, що систематичне застосування діагностичних методів дозволяє підвищити коефіцієнт готовності рухомого складу на 8–12 %, а також зменшити витрати на технічне обслуговування до 15 %. Наведено типові залежності ймовірності відмов від напрацювання та показано ефект від упровадження системи параметричного контролю.

Ключові слова: *рухомий склад, автомобільний транспорт, технічний стан, параметрична діагностика, надійність, коефіцієнт готовності.*

The influence of parametric diagnostics of the technical condition of vehicles on the stability of the functioning of the rolling stock of motor transport is considered. It is shown that the systematic application of diagnostic methods allows increasing the readiness coefficient of rolling stock by 8–12% and reducing maintenance costs by up to 15%. Typical dependencies of failure probability on operating time are given, and the effect of introducing a parametric control system is shown.

Keywords: *vehicle fleet, automotive transport, technical condition, parametric diagnostics, reliability, availability factor*

На сучасному етапі розвитку автомобільного транспорту України основною проблемою залишається забезпечення стабільної експлуатаційної надійності рухомого складу (РС). За результатами досліджень, понад 40 % простоїв припадає на технічні несправності [1]. Середній вік автомобілів в Україні перевищує 20 років [2], що обумовлює підвищений рівень відмов і простоїв техніки.

Одним із найбільш ефективних напрямів підвищення стабільності функціонування рухомого складу є впровадження параметричного діагностування технічного стану транспортних засобів. Цей підхід передбачає вимірювання та аналіз діагностичних параметрів, що прямо або опосередковано характеризують технічний стан агрегатів і систем автомобіля. Саме тому автопідприємства прагнуть зменшити час простоїв завдяки підвищенню надійності двигунів що забезпечує пропорційний зріст доступності автопарку для виконання перевезень. Структуру причин відмов можливо описати у наступному співвідношенні: механічні фактори (40–50 % відмов); експлуатаційні, низький рівень якості пального, зношення фільтрів тощо (15-20%); інші, помилки персоналу, випадкові події (20-30%).

Для оцінки ефективності діагностування використовується коефіцієнт готовності :

$$K_{\Gamma} = \frac{T_P}{\left(T_P + T_B\right)}, \tag{1}$$

де T_P – середній час роботи між відмовами; T_B-середній час відновлення працездатності.

Традиційна діагностика дизельних двигунів базується на регламентних перевірках та виконанням технічного обслуговування залежно від пробігу, або попередньо визначеного терміну напрацювань. Являє собою контроль мастила, фільтрів, слідкування за рівнем рідин, поверхневу діагностику при сигналізуванні наприклад індикатору «Check Engine». Проте для виявлення дефектів на ранніх стадіях дедалі більше використовуються програмні системи моніторингу і спеціалізовані прилади. Такі системи здатні опрацьовувати телематичні дані з бортової мережі (експлуатаційні DTC-коди), а також додані датчики вібрації і температури [3]. Наприклад, розвиток телематики останніх років дозволив збирати значні обсяги даних з автопарку і застосовувати їх у прогностичному обслуговуванні. Аналітичні платформи аналізують частотні сигнали відмов і за появою типових ознак сигналізують технічному персоналу про необхідність перевірки конкретної машини. Таким чином, ефективний

моніторинг технічного стану кожного окремого автомобіля може підвищити безпеку і продуктивність його роботи.

У результаті впровадження діагностичних систем у складі АТП коефіцієнт готовності зростає в середньому з 0,87 до 0,95, що свідчить про скорочення часу простоїв техніки майже на 25 % [4].

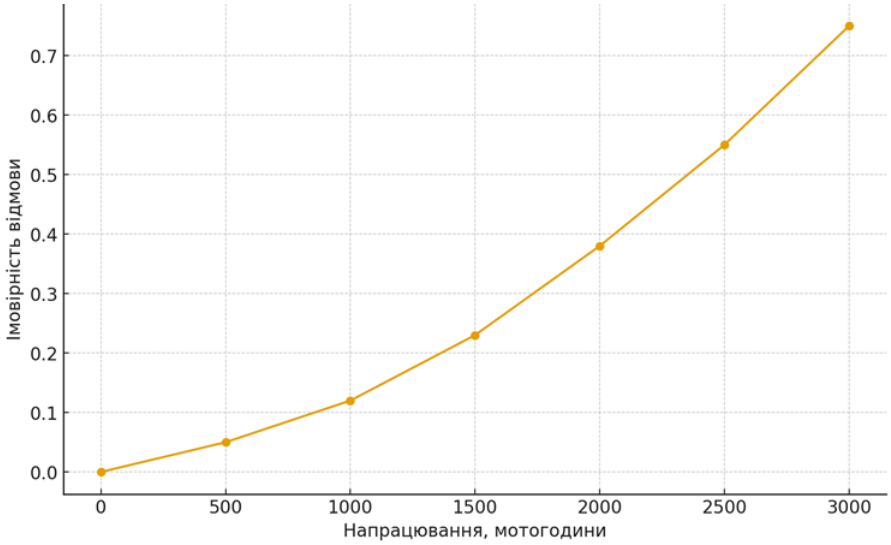


Рис.1 – Залежність імовірності відмови від напрацювання

Таблиця 1 - Порівняння показників ефективності роботи рухомого складу

Показник	До впровадження діагностики	Після впровадження діагностики
Коефіцієнт готовності	0,87	0,95
Середні витрати на ТО,% від собівартості	12,5	10,6
Середня тривалість простою, год.	48	36

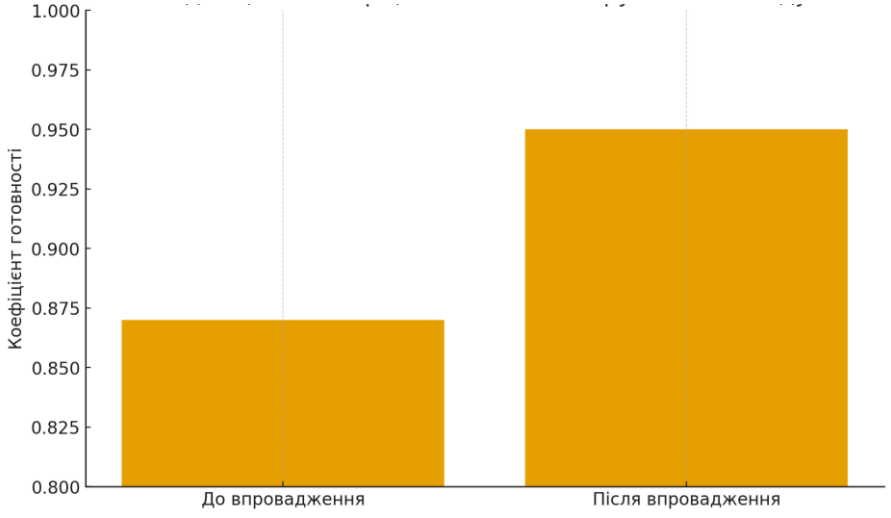


Рис.2 - Підвищення коефіцієнта готовності рухомого складу після впровадження параметричного діагностування

Отже, впровадження систем параметричного діагностування технічного стану транспортних засобів є дієвим інструментом підвищення стабільності функціонування рухомого складу автомобільного транспорту. Регулярний контроль параметрів двигуна, трансмісії та

гальмівних систем дозволяє знизити кількість відмов, оптимізувати графіки ТО і підвищити ефективність експлуатації техніки. Для автотранспортних підприємств доцільно створювати системи моніторингу технічного стану рухомого складу, що поєднують віброакустичні сенсори, бортову діагностику та ІТ-інфраструктуру (хмарні сервіси, аналітичне ПЗ). Необхідно інвестувати в навчання персоналу з інтерпретації діагностичних даних. Перспективним напрямком для розвитку є подальше впровадження автоматизованої діагностики з використанням діагностичного обладнання, IoT та штучного інтелекту.

Список використаних джерел

1. Біліченко В.В., Матвійчук Д.М. (2025). Визначення теоретичної залежності взаємозв'язку діагностичних параметрів та надійності дизельних двигунів // Збірник матеріалів МНТІК , Вінниця : ВНТУ, 2025, С. 57-61, ISBN 978-617-8163-47-1
2. Дослідження: Український автопарк найстаріший в Європі. URL: https://itc.ua/news/doslidzhennya-ukra%D1%97nskij-avtopark-najstarishij-v-evropi-serednij-vik-legkovih-avtomobiliv-v-kraini-227-rokiv-v-es-108-rokiv/ (12.10.2021).
3. Сіренко В.І. Діагностування автомобілів: навч. посіб. – Київ: Арістей, 2016. – 240 с.
4. Козаченко Д.М. Методи підвищення надійності автотранспортних засобів шляхом контролю технічного стану. – Вісник НТУ, 2020, №47. – С. 85–91.

Біліченко Віктор Вікторович **–** д.т.н., ректор, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

Матвійчук Дмитро Миколайович **–** аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ndirir95@gmail.com

Bilichenko Viktor – Dr.Sc.(Eng.) Professor, Rector, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bilichenko.v@gmail.com.

Matvijchuk Dmytro – Post-Graduate Student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail ndirir95@gmail.com

УДК 656.078

В.В. Біліченко, В.Л. Паламарчук

МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ МІСЬКИХ І ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ (НА ПРИКЛАДІ М. ЧЕРКАСИ)

Розглянуто особливості оптимізації маршрутної мережі громадського транспорту м. Черкаси. Визначено основні проблеми існуючої системи пасажирських перевезень: дублювання маршрутів, низьку частку екологічного транспорту та відсутність інтеграції між міськими і приміськими перевезеннями. Запропоновано математичну модель мінімізації витрат на перевезення пасажирів і методику адаптації маршрутної мережі шляхом укрупнення маршрутів і створення пересадкових вузлів. Розроблена модель дозволяє скоротити дублювання маршрутів, підвищити екологічність та ефективність перевезень.

Ключові слова: *транспортна мережа, пасажирські перевезення, оптимізація, моделювання, екологічність.*

The features of optimizing the public transport route network of Cherkasy are considered. The main problems of the existing passenger transportation system are identified: route duplication, low share of environmentally friendly transport, and lack of integration between urban and suburban routes. A mathematical model for minimizing transportation costs and a method for adapting the route network by enlarging routes and creating transfer hubs are proposed. The developed model allows reducing route duplication and increasing environmental and operational efficiency.

Keywords: *transport network, passenger transportation, optimization, modeling, environmental efficiency.*

Ефективність організації пасажирських перевезень у містах середнього розміру значною мірою залежить від раціональності побудови маршрутної мережі. Аналіз існуючої мережі громадського транспорту м. Черкаси показав, що щільність перевищує 8 км маршрутів на 1 км², а рівень дублювання становить понад 75 %. Це призводить до перевантаження вулично-дорожньої мережі та зниження ефективності використання рухомого складу.

Для моделювання транспортної системи використано елементи математичного програмування та методи оптимізації маршрутів. Цільова функція має вигляд:

$$C = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} \cdot x_{ij},$$

де С – загальні витрати на перевезення; x_{ij} – кількість пасажирів, перевезених з пункту i до пункту j; c_{ij} – вартість перевезення одиниці пасажирів між пунктами i та j.

Оптимізація маршрутної мережі здійснюється з урахуванням транспортного попиту, пропускної спроможності магістралей, часу очікування і рівня завантаження транспортних засобів. Для підвищення ефективності запропоновано створити пересадкові хаби на межі міста та інтегрувати приміські маршрути у міську транспортну систему.

Таблиця 1 – Характеристика маршрутної мережі м. Черкаси

Показник	Значення
Кількість міських маршрутів	29
Кількість тролейбусних маршрутів	11
Середній рівень дублювання	> 75 %
Щільність мережі (км/км²)	8,1
Частка електротранспорту	≈ 38 %

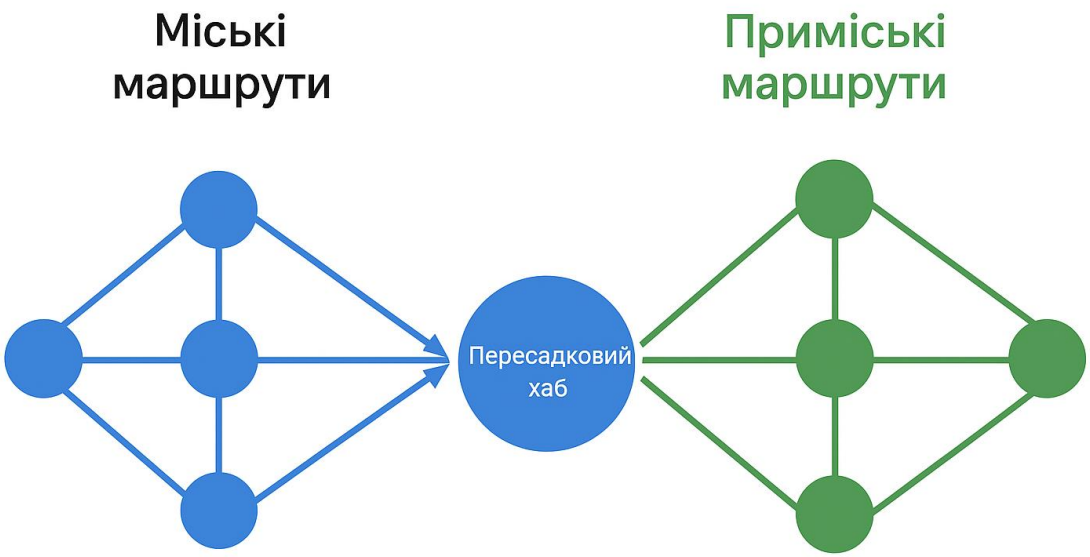


Рисунок 1 – Принципова схема інтеграції міських і приміських маршрутів

Запропонована модель дозволяє впорядкувати транспортні потоки, зменшити дублювання маршрутів, знизити навантаження на вулично-дорожню інфраструктуру та скоротити час перевезення пасажирів. Отримані результати можуть бути використані при плануванні розвитку системи громадського транспорту м. Черкаси.

Список використаних джерел

1. Біліченко В. В. та ін. Оптимізація мережі транспорту загального користування на прикладі м. Черкаси // Вісник машинобудування та транспорту. – 2021. – №13(1). – С. 13–22.
2. Дороніна А.Є. Транспортне планування: теорія і практика / За ред. А.Є. Дороніна. – К.: НТУ, 2020.
3. Аналітичний звіт щодо транспортної системи м. Черкаси. – Черкаська міська рада, 2020.
4. Павлюк М.І. Сучасні методи оптимізації транспортних схем / М.І. Павлюк. – Львів: ЛНТУ, 2019.

Біліченко Віктор Вікторович — д-р техн. наук, професор, ректор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bilichenko.v@gmail.com
Паламарчук Володимир Леонідович — аспірант кафедри АТМ Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: konpalamar@gmail.com

Bilichenko Viktor Viktorovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bilichenko.v@gmail.com
Palamarchuk Volodymyr Leonidovych – Postgraduate Student of the Department of ATM, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: konpalamar@gmail.com

УДК 656.078

В.В. Біліченко, О.В. Цимбал

ІНТЕГРОВАНИЙ ПІДХІД ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ СУЧАСНОГО МІСТА

Розглянуто інтегрований підхід до вдосконалення системи організації міських пасажирських перевезень в умовах сучасного українського міста. Проаналізовано основні проблеми функціонування міського транспорту, зокрема зниження якості обслуговування, застарілий рухомий склад та невідповідність інфраструктури сучасним вимогам. Запропоновано концепцію розвитку транспортної системи на засадах цифровізації, екологізації та інтеграції різних видів транспорту. Визначено ключові підсистеми міського пасажирського транспорту – маршрутну мережу, рухомий склад, інфраструктуру, систему управління та кадровий потенціал. Обґрунтовано необхідність створення єдиного центру міської мобільності, який забезпечить координацію перевізників, моніторинг технічного стану транспорту та управління пасажиропотоками в режимі реального часу. Зазначено, що впровадження інтелектуальної транспортної системи (ІТС) сприятиме підвищенню ефективності перевезень, зниженню витрат, поліпшенню екологічної ситуації та комфорту пасажирів.

Ключові слова: *міські пасажирські перевезення, інтегрований підхід, маршрутна мережа, інтелектуальна транспортна система, цифровізація, екологічний транспорт, міська мобільність, управління перевезеннями.*

An integrated approach to improving the system of organizing urban passenger transportation in the conditions of a modern Ukrainian city is considered. The main problems of urban transport functioning are analyzed, in particular, the decline in the quality of service, outdated rolling stock and the inconsistency of the infrastructure with modern requirements. A concept for the development of the transport system based on digitalization, greening and integration of various types of transport is proposed. The key subsystems of urban passenger transport are identified - the route network, rolling stock, infrastructure, management system and human resources. The need to create a single urban mobility center is justified, which will ensure the coordination of carriers, monitoring the technical condition of transport and managing passenger flows in real time. It is noted that the implementation of an intelligent transport system (ITS) will contribute to increasing the efficiency of transportation, reducing costs, improving the environmental situation and passenger comfort.

Keywords: *urban passenger transportation, integrated approach, route network, intelligent transport system, digitalization, ecological transport, urban mobility, transportation management.*

Сучасні умови функціонування міських пасажирських транспортних систем в Україні характеризуються високим рівнем урбанізації, зростанням кількості приватних транспортних засобів, збільшенням інтенсивності транспортних потоків та посиленням екологічних вимог. У більшості середніх і великих міст спостерігається стагнація або навіть деградація громадського транспорту: знижується рівень якості обслуговування пасажирів, зростає частка старого рухомого складу, а інфраструктура не відповідає сучасним стандартам безпеки та комфорту.

Аналіз просторового розвитку міст України свідчить, що їхні територіальні межі протягом останніх десятиліть залишаються практично сталими, а темпи приросту населення незначні. Водночас змінюється структура пасажиропотоків – спостерігається децентралізація трудових поїздок, зростає роль приміських зон, збільшується кількість коротких поїздок у межах житлових мікрорайонів. За таких умов ефективність роботи міського пасажирського транспорту значною мірою визначається не масштабом мережі, а якістю управління, технологічною оснащеністю та рівнем інтеграції різних видів транспорту.

У багатьох містах України впровадження нових видів маршрутного пасажирського транспорту є економічно складним через дефіцит фінансування. Тому ключовим напрямом розвитку стає удосконалення існуючої системи міських перевезень на основі сучасних цифрових технологій, оптимізації маршрутної мережі та підвищення ефективності експлуатації рухомого складу.

Виробнича система міських пасажирських перевезень розглядається як складна соціально-економічна система, що поєднує значну кількість взаємопов’язаних підсистем: маршрутну

мережу, транспортні засоби, інфраструктуру, управлінський персонал, інформаційно-диспетчерські служби. Її ефективність визначається злагодженістю роботи всіх елементів і здатністю швидко адаптуватися до зміни транспортного попиту.

Сучасна транспортна система міста має функціонувати не лише як сукупність маршрутів і транспортних засобів, а як інтелектуальна мережа, яка в режимі реального часу забезпечує узгодження роботи перевізників, прогнозування попиту, координацію руху та інтеграцію з іншими видами транспорту (приміським, залізничним, велосипедним тощо).



Рисунок 1 – Інтегрована система міських пасажирських перевезень

Основні підсистеми міської транспортної системи:

Підсистема маршрутна мережа

Маршрутна мережа є базовим елементом, що визначає просторову структуру пасажирських потоків. У сучасних умовах вона повинна формуватися з урахуванням:

- моделювання транспортного попиту на основі GPS-даних, мобільних операторів та цифрових трекерів пасажиропотоку;
- принципів інтермодальності – узгодження міського транспорту з регіональними перевезеннями;
- гнучких режимів руху – звичайний, експресний, нічний, підвізний;
- зональної оптимізації зупинок – мінімізація дублювання маршрутів, скорочення часу пересадок.

Ключовою тенденцією є перехід до динамічної маршрутної мережі, коли схема перевезень коригується на основі фактичних даних GPS-моніторингу та пасажирських транзакцій (електронний квиток, мобільні додатки).

Підсистема транспортні засоби

Сучасна політика міст спрямована на оновлення парку автобусів та тролейбусів, заміну дизельних автобусів на електробуси, гібриди та транспорт на газовому паливі. Це не лише знижує експлуатаційні витрати, але й скорочує рівень викидів CO_2.

Основні напрями вдосконалення підсистеми рухомого складу:

- перехід на енергоефективні та екологічні технології;
- інтелектуальний моніторинг технічного стану (діагностика вузлів і агрегатів через телеметрію);
- оптимізація співвідношення пасажиромісткості до пасажиропотоку;
- цифровий облік роботи транспортних засобів і водіїв через інтегровані диспетчерські платформи.

Для міст, подібних до Вінниці, доцільно створити єдиний центр управління технічною готовністю транспорту, що координує ремонтні бази приватних і комунальних перевізників у форматі регіонального партнерства.

Підсистема інфраструктура

Інфраструктура є матеріальним фундаментом транспортної системи. До її складу належать:

- дорожнє полотно і розмітка;
- контактні мережі тролейбусів та трамваїв;
- диспетчерські пункти, зупинкові комплекси, паркувальні зони;
- виробничо-технічні бази підприємств.

У сучасних умовах важливо не лише утримувати інфраструктуру в належному стані, а й інтелектуалізувати її: встановлювати “розумні” світлофори, електронні табло, LED-індикатори, системи відеоспостереження та датчики транспортного навантаження. Це дозволяє адаптивно регулювати рух, зменшувати затори й покращувати комфорт пасажирів.

Важливою тенденцією стає інтеграція транспортної інфраструктури у концепцію Smart City, що передбачає взаємодію всіх елементів міської мобільності на базі єдиної цифрової платформи.

Підсистема управління та персонал

Людський фактор залишається критичним у роботі транспортної системи. Основними напрямами розвитку кадрової складової є:

- підвищення кваліфікації персоналу з акцентом на цифрові технології керування транспортом;
- створення системи психологічної підтримки водіїв та мотивації персоналу;
- впровадження корпоративних стандартів культури обслуговування;
- підготовка персоналу до роботи з новими типами транспорту (електробуси, GPS-системи, автоматизовані диспетчерські).

Паралельно необхідно вдосконалити організаційну структуру управління транспортною системою міста – створити Центр міської мобільності, який координуватиме роботу усіх перевізників, забезпечуючи інтеграцію транспортних процесів.

Завдання системного вдосконалення. Удосконалення міської транспортної системи потребує реалізації комплексу заходів, спрямованих на підвищення ефективності перевезень, безпеки руху, зниження енерговитрат і екологічного навантаження. До основних завдань належать:

Комплексний аудит існуючої транспортної системи: аналіз маршрутної мережі, завантаженості маршрутів, технічного стану транспорту.

Розробка моделі інтегрованого управління перевезеннями із використанням даних GPS-моніторингу, відеоаналітики та систем електронного квитка.

Оптимізація маршрутної мережі на основі просторового аналізу пасажиропотоків.

Модернізація автопарку за рахунок електробусів та екологічних транспортних засобів.

Створення єдиного логістичного центру управління міськими перевезеннями.

Впровадження інтегрованої інформаційної системи (диспетчеризація, контроль пробігу, прогнозування заторів).

Підвищення рівня безпеки перевезень через відеоконтроль, автоматичне спостереження за поведінкою водіїв.

Реалізація зазначених напрямів забезпечить формування стійкої, енергоефективної та соціально орієнтованої системи міської мобільності.

Висновки

Системне вдосконалення міських пасажирських перевезень потребує комплексного підходу, який поєднує технічні, організаційні та інформаційні рішення. Ефективність транспортної системи визначається не лише станом рухомого складу, а передусім рівнем інтеграції її підсистем: маршрутної мережі, інфраструктури, технічного обслуговування та управління.

Перехід до інтелектуальної транспортної системи міста дозволить підвищити ефективність роботи перевізників, знизити експлуатаційні витрати, покращити екологічний стан та комфорт пасажирів. Для цього необхідно об’єднати зусилля місцевої влади, приватних перевізників, IT-компаній і громадськості.

Таким чином, головним напрямом розвитку міського пасажирського транспорту в Україні у найближчі роки має стати інтегрована цифрова модернізація виробничої системи перевезень, що забезпечить сталу мобільність населення та підвищення якості транспортних послуг.

Список використаних джерел

1. Огій О.В., Рубан Д.П., Голубов О.С., Підгорний М.В. Комплексний підхід до питання інтеграції громадського транспорту та містобудування // Technology audit and production reserves. – 2015. – № 4(6). – С. 45–50. – Режим доступу: https://journals.uran.ua/tarp/article/view/52010

2. Лифенко С., Понкратов Д. Методологія оцінювання ефективності роботи громадського транспорту в контексті розвитку стійкої міської транспортної системи // Міське господарство міст (Municipal economy of cities). – 2025. – № 2(179). – С. 56–62. – Режим доступу: https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6599

3. Integration of Public Transport Systems for Enhanced Passenger Mobility: A Systematic Review // International Journal of Transport Development and Integration. – 2023. – Vol. 8, No. 1. – P. 89–102. – DOI: 10.18280/ijtdi.080110

4. Veh J. An Overview of Intelligent Transportation Systems in Europe // Vehicles. – 2025. – Vol. 16, No. 7. – Article 387. – DOI: 10.3390/vehicles16070387

5. Жук М., Півторак Г., Гіць І. Оцінка якості обслуговування громадського транспорту (аналіз досліджень у Львові, Україна) // Transport Technologies. – 2023. – Т. 4, № 2. – С. 33–41. – Режим доступу: https://science.lpnu.ua/tt/all-volumes-and-issues/vipusk-4-nomer-2-2023/assessment-service-quality-public-transport-analysis

Біліченко Віктор Вікторович – д-р техн. наук, професор, ректор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

Цимбал Ольга Василівна – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: unicorne@ukr.net

Bilichenko Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

Tsymbal Olga V. – Assistant Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: unicorne@ukr.net

УДК 004.9:656.13

В.В. Біліченко, С.В. Цимбал, Ю.Ю. Кукурудзяк

РОЗРОБКА ІНТЕРАКТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

Розглянуто питання розробки інтерактивної системи керування пасажирським транспортом міста на основі сучасних інформаційних технологій. Проаналізовано проблеми ефективної організації міських перевезень, описано архітектуру програмного комплексу, що поєднує модулі моніторингу, диспетчеризації, аналітики та прогнозування. Запропоновано концепцію інтеграції геоінформаційних сервісів (GIS), баз даних реального часу, мобільних клієнтів для пасажирів і веб-інтерфейсу для операторів. Проведено аналіз можливостей застосування інтелектуальних алгоритмів оптимізації маршрутів та прогнозування завантаженості. Результатом є модель системи, здатної забезпечити підвищення ефективності управління міським транспортом, зменшення затримок руху та покращення якості обслуговування пасажирів.

Ключові слова: *пасажирський транспорт, інтерактивна система, диспетчеризація, оптимізація маршрутів, база даних, мобільний застосунок.*

The issue of developing an interactive city passenger transport management system based on modern information technologies is considered. The problems of effective organization of urban transportation are analyzed, the architecture of the software complex is described, which combines monitoring, dispatching, analytics and forecasting modules. The concept of integrating geographic information services (GIS), real-time databases, mobile clients for passengers and a web interface for operators is proposed. The possibilities of using intelligent algorithms for route optimization and load forecasting are analyzed. The result is a model of a system capable of increasing the efficiency of urban transport management, reducing traffic delays and improving the quality of passenger service.

Keywords: *passenger transport, interactive system, dispatching, route optimization, database, mobile application.*

Ефективне функціонування міського пасажирського транспорту є важливою складовою сталого розвитку сучасного міста. Зростання кількості транспортних засобів, збільшення пасажиропотоків та динамічність міського середовища потребують впровадження нових підходів до управління перевезеннями. Традиційні методи диспетчерського контролю часто не дозволяють своєчасно реагувати на зміни у транспортній системі, що призводить до перевантаження окремих маршрутів, нераціонального використання ресурсів і зниження рівня комфорту пасажирів.

Розвиток інформаційних технологій, мобільного зв’язку та супутникової навігації створює умови для реалізації інтерактивних систем, які об’єднують усіх учасників транспортного процесу: диспетчерів, водіїв і пасажирів. Такі системи дають змогу не лише моніторити рух транспорту в реальному часі, а й прогнозувати ситуацію, оптимізувати маршрути, автоматично розподіляти ресурси та забезпечувати прозорий обмін інформацією.

Метою даної роботи є розроблення архітектури інтерактивної системи керування пасажирським транспортом міста, що об’єднує модулі збору даних, аналітики, планування маршрутів і користувацьких інтерфейсів для різних категорій користувачів.

Сучасні системи керування громадським транспортом можна умовно поділити на три типи: інформаційно-довідкові системи, що надають пасажирам дані про розклад, маршрути та вартість проїзду; системи моніторингу та диспетчеризації, орієнтовані на управління рухом транспортних засобів у реальному часі; інтелектуальні транспортні системи, які інтегрують аналітику, прогнозування, автоматичне планування та взаємодію з міською інфраструктурою.

Серед існуючих рішень найбільш поширені такі системи, як Google Transit, Moovit, CityBus, EasyWay. Вони надають пасажирам можливість переглядати положення транспорту, проте переважно працюють як клієнтські застосунки без глибокої інтеграції з внутрішніми системами міських перевізників.

Для ефективного управління необхідно забезпечити:
- централізований збір даних із GPS-трекерів, датчиків і мобільних пристроїв;
- динамічне планування маршрутів з урахуванням дорожньої ситуації;
- інтерактивну взаємодію між операторами, водіями та пасажирами;
- аналітичну підтримку прийняття рішень на основі великих даних.

Застосування геоінформаційних систем є ключовим чинником, що дозволяє візуалізувати рух транспортних засобів, аналізувати покриття маршрутів та прогнозувати навантаження на окремі ділянки міста.

Для розробки концепції інтерактивної системи керування пасажирським транспортом міста, яка поєднує можливості моніторингу, аналітики, прогнозування та взаємодії користувачів необхідно виконати такі завдання:
- Провести аналіз існуючих систем управління міським транспортом.
- Розробити архітектуру інтерактивної системи з розподілом на логічні модулі.
- Створити модель бази даних для зберігання динамічної та статичної інформації.
- Реалізувати API для обміну даними між компонентами системи.
- Інтегрувати GIS-сервіси для моніторингу транспортних засобів у реальному часі.
- Розробити прототип мобільного застосунку для пасажирів.
- Оцінити ефективність системи та можливості її впровадження в умовах міста.

Архітектура системи побудована за принципом багаторівневої клієнт-серверної моделі, що включає:

Рівень даних - централізована база даних для зберігання геопросторової інформації (маршрути, зупинки, положення транспорту, користувачі).

Серверний рівень - забезпечує обмін даними між клієнтами та сервером.

Аналітичний модуль - набір мікросервісів для обробки даних у реальному часі, прогнозування затримок, оптимізації маршрутів.

У межах виконання досліджень розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє формувати, аналізувати та оптимізувати маршрутну мережу міського транспорту. Система використовує GPS-координати зупинок і маршрутів, зберігає інформацію про траєкторії руху, дозволяє створювати як статичну, так і динамічну базу даних, аналізувати навантаження, інтервали та ефективність роботи транспортних засобів. Програмне забезпечення захищено сімома свідоцтвами про реєстрацію авторського права, що підтверджує унікальність та інноваційність розробки.

На рисунках 1 та 2 представлено реалізацію інтерактивної системи, її структуру, а також приклади формування бази зупинок, перегонів і маршрутів. Крім того, здійснюється формування GPS-карти зупинок міста, побудова моделі транспортної мережі та її подальша оптимізація з використанням відповідних алгоритмів.

Висновки

У роботі представлено концепцію інтерактивної системи керування пасажирським транспортом міста, яка поєднує технології GIS, мобільного зв'язку, хмарних сервісів і аналітики даних. Система забезпечує підвищення ефективності управління, зниження витрат, покращення точності розкладу та підвищення рівня комфорту пасажирів.

Запропонована архітектура може бути адаптована для будь-якого типу міського транспорту: автобусного, тролейбусного, трамвайного або метро.

Список використаних джерел

1. Skarga-Bandurova I., Derkach M., Velykzhanin A. A Framework for Real-Time Public Transport Information Acquisition and Arrival Time Prediction Based on GPS Data. In: Dependable IoT for Human and Industry. River Publishers, 2018, pp. 411–431

2. Grytsenko S.I., Hrechkovska A.I., Kordyak M.O. Development of intelligent transport systems of Ukraine. Intellectualization of logistics and Supply Chain Management, 2023, Vol. 17, pp. 35–42

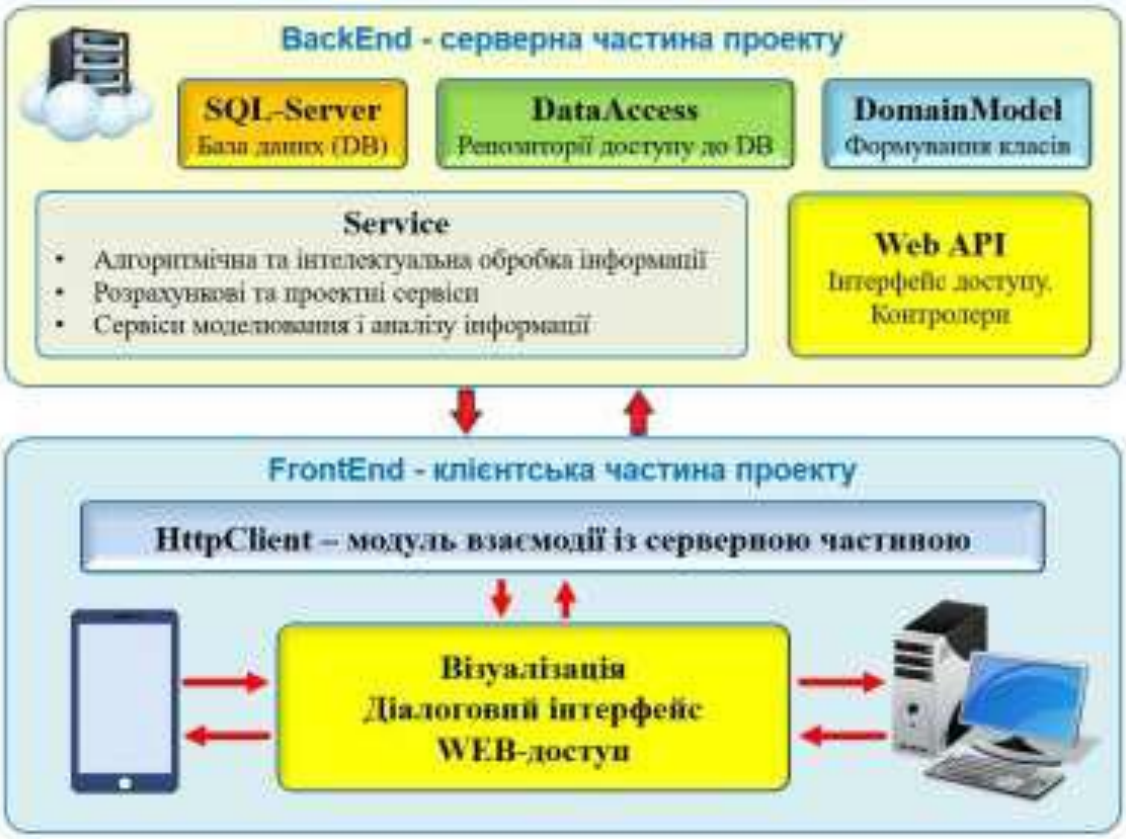


Рис. 1 – Програмна реалізація інтерактивної системи



Рис. 2 – Структура середовища

3. Danchuk V., Hutarevych O. Adaptable Dynamic Routing System in Urban Transport Logistics Problems Using GIS Data. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, No 125, 2024, pp. 19–31

4. Ivannikova V., Nesterov O. Model of Transport System Optimization in Kyiv (Ukraine). In: Transbaltica XII, Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure, 2021/2022, pp. 456–467

5. O. Kuzmenko, V. Kuzmenko, I. Bezuhlova - Main Directions of Sea Freight Development in Ukraine: Formation of New Logistics Hubs Vol. 6 No. 180 (2023): Series: Engineering science and architecture. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-237-243)

Біліченко Віктор Вікторович – доктор технічних наук, професор, ректор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

Цимбал Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Кукурудзяк Юрій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: uk34@ukr.net

Bilichenko Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

Tsymbal Serhii V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Kukurudziak Yuriy Yu. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: uk34@ukr.net

УДК 656.078

Р.В. Бойків, М.Ю. Євчук

ОЦІНКА КОНФЛІКТНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА НЕРЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ З ІНТЕНСИВНИМ ВИЇЗДОМ НА ГОЛОВНИЙ НАПРЯМ ЯК ФАКТОР ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНОСТІ

Проаналізовано нерегульоване перехрестя з інтенсивним рухом на другорядній дорозі, що примикає до дороги міжнародного значення М06, розглянуто конфліктологію транспортних потоків на ньому.

Ключові слова: *транспортний потік, нерегульоване перехрестя, конфліктні точки, аварійність, інтенсивність, організація дорожнього руху.*

An unregulated intersection with heavy traffic on a secondary road adjacent to the international road M06 was analyzed, and the conflictology of traffic flows on it was considered.

Keywords: *traffic flow, unregulated intersections, conflict points, accident rates, intensity, traffic management.*

Нерегульовані перехрестя автомобільних доріг загального користування розглядаються у наукових дослідженнях як зони підвищеної конфліктності транспортних потоків, де через відсутність примусового регулювання суттєво зростає ймовірність виникнення небезпечних дорожніх ситуацій [1]. Водії змушені самостійно визначати послідовність проїзду, орієнтуючись лише на візуальну оцінку дорожньої обстановки, що створює додаткові ризики при інтенсивному русі магістральним напрямком. Аналіз конкретного нерегульованого перехрестя автомобільної дороги міжнародного значення М06 із другорядною вулицею Тракт Глинянський у межах транспортної системи Львова дозволяє виявити закономірності формування конфліктних ситуацій та оцінити рівень потенційної аварійності, обумовлений нерівномірним розподілом транспортних потоків.

За результатами натурних спостережень в першу годину після пікового часового проміжку, встановлено, що головний напрямок руху по автомобільній дорозі М06 характеризується високою інтенсивністю транспортного потоку, яка становить 914 автомобілів за годину в напрямку Києва (підхід №2) та 1005 автомобілів за годину в напрямку міста Чоп (підхід №2). Такий рівень навантаження є типовим для магістральних доріг міжнародного значення і формує домінуючий транспортний потік, який рухається з більшою середньою швидкістю та має стабільний пріоритет над другорядними напрямками. Інтенсивність руху з вулиці Тракт Глинянський складає 390 транспортних засобів за годину у напрямку Львова та 384 транспортних засобів за годину у напрямку виїзду з міста, що є значно меншими показниками, але саме їх взаємодія з головним потоком і визначає рівень конфліктності на даному перехресті.

У процесі включення транспортних засобів із другорядної дороги в головний потік водії стикаються з необхідністю оцінки часових інтервалів і швидкості наближення транспортних засобів на магістральному напрямку, що згідно з методичними підходами до визначення конфліктних точок є одним із ключових факторів формування небезпечних ситуацій [2]. За умов інтенсивності понад 900 автомобілів за годину часові проміжки між транспортними засобами на головній дорозі є недостатніми для комфортного і безпечного виїзду з другорядного напрямку, що підвищує психоемоційне навантаження на водія і часто провокує прийняття ризикових рішень. Спостерігається накопичення транспортних засобів на другорядному підході (підхід №3 і №4) з подальшим різким включенням у потік, що призводить до виникнення конфліктних точок перетину та злиття, де ймовірність ДТП різко зростає в разі навіть незначної помилки одного з учасників руху. Утворення конфліктних точок перетину, злиття чи відхилення на досліджуваному перехресті зображено на рисунку 2.

За таких умов особливого значення набуває впровадження організаційних заходів, спрямованих на зниження конфліктності транспортних потоків. Практика підвищення безпеки на міжнародних автомобільних дорогах свідчить про доцільність застосування елементів каналізування руху, встановлення острівців спрямування, введення локальних обмежень швидкості на підходах до перехресть або впровадження фазового регулювання із розведенням потоків у часі [3]. Такі заходи дозволяють структурувати траєкторії транспортних засобів,

збільшити часові інтервали між транспортними потоками та знизити суб'єктивний рівень напруженості серед водіїв, що у підсумку позитивно впливає на загальний рівень безпеки дорожнього руху.

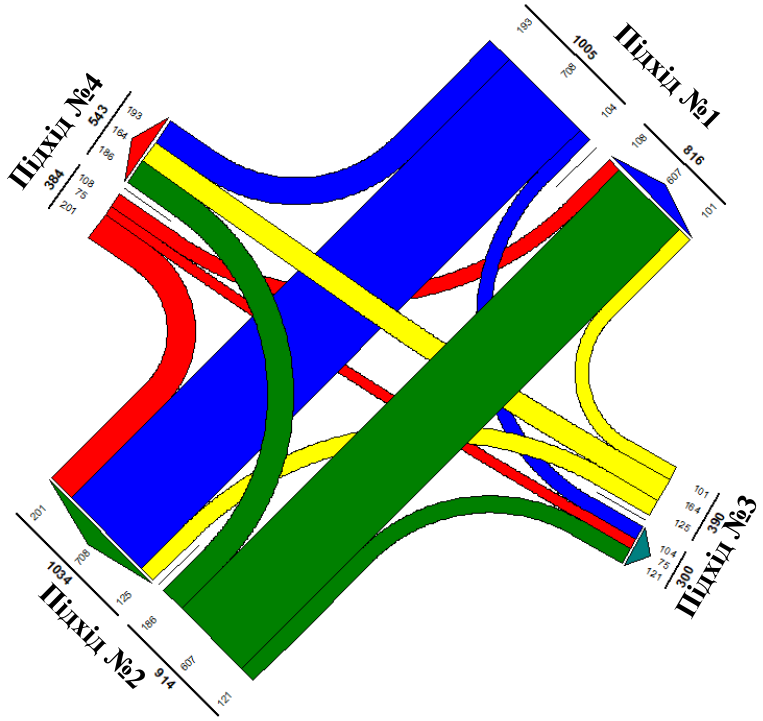


Рисунок 1 – Картограма інтенсивності транспортного потоку

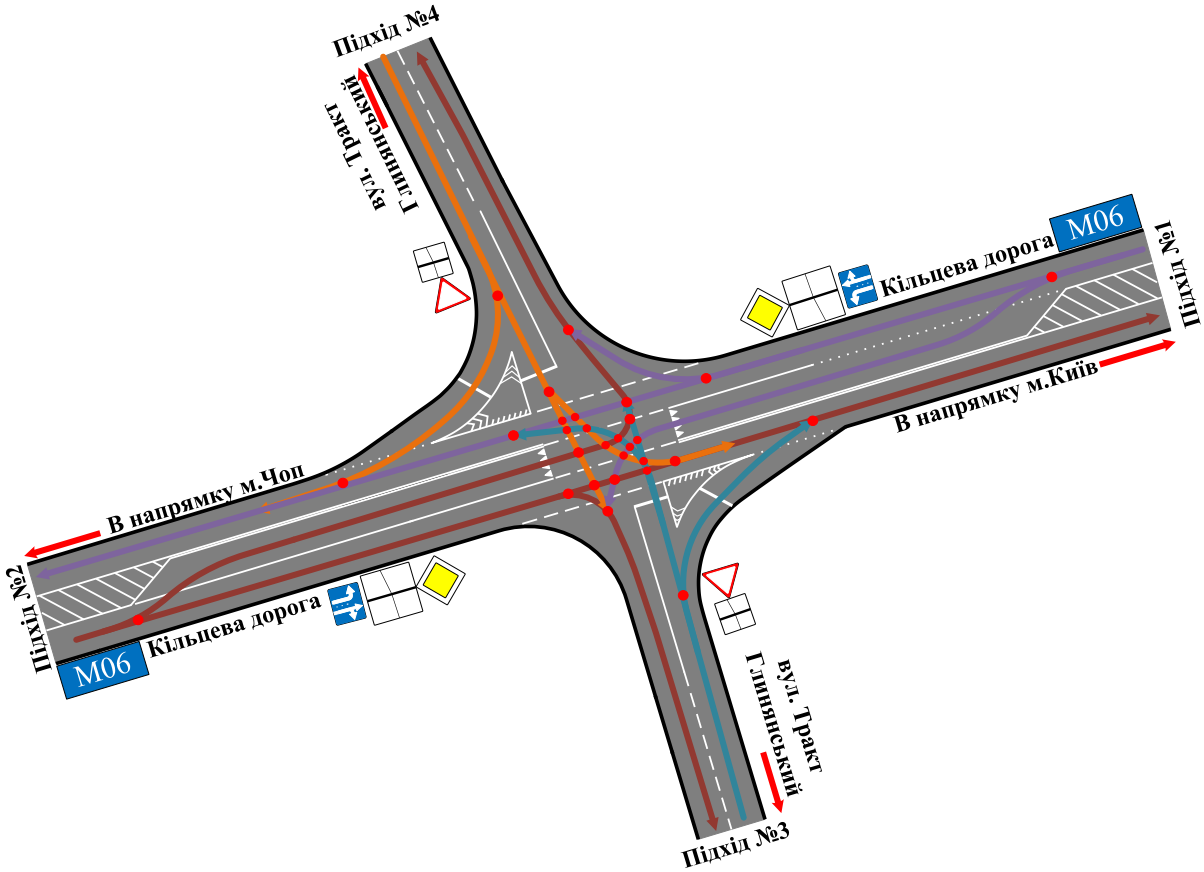


Рисунок 2 – Конфліктні точки на нерегульованому перехресті Кільцева дорога-вул. Тракт Глинянський

Таким чином, проведений аналіз транспортної ситуації на нерегульованому перехресті дороги М06 із другорядним напрямком показує, що навіть за помірної інтенсивності руху з другорядної дороги існують об'єктивні передумови формування підвищеної конфліктності через перевагу магістрального потоку та відсутність контрольованого розподілу пріоритетів. Упорядкування траєкторій руху, зниження швидкісного режиму та можливе впровадження примусового регулювання є ключовими механізмами зменшення ризику аварійності та підвищення рівня транспортної безпеки на даному перехресті. Оцінка конфліктності потоків у таких умовах може бути використана як обґрунтування для подальшої модернізації транспортної інфраструктури та впровадження адаптивних заходів організації дорожнього руху.

Список використаних джерел

1. Ройко Ю.Я. Організація дорожнього руху, частина 1: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів базового напряму 6.070101 «Транспортні технології» спеціальностей 7(8).07010102«Організація перевезень і управління на транспорті» та 7(8).07010104 «Організація і регулювання дорожнього руху» / Укл.: Ю.Я. Ройко, М.В. Бойків. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2015. – 40 с.
2. Євчук, М. Ю. Дослідження граничних часових інтервалів на нерегульованих перехрестях / М. Ю. Євчук, О. М. Грицунь // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, ХНАДУ. - Харків, 2013. - Вип. 4. – С. 45-47.
3. Постранський Т.М., Афонін М.О., Бойків М.В. Вплив проектованої схеми організації кругового руху на нерегульованому перехресті міських вулиць на тривалість транспортної затримки// Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2020.– №2(15)

Бойків Роман Васильович **–** асистент кафедри транспортних технологій, Львівський національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, e-mail: roman**.**boykiv@gmail.com

Євчук Мирослав Юрійович **–** асистент кафедри транспортних технологій, Львівський національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, e-mail: myroslavyevchuk@gmail.com

Roman Boikiv V. **–** Assistant Professor, Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: roman.boykiv@gmail.com

Yevchuk Myroslav Y. **–** Assistant Professor, Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: myroslavyevchuk@gmail.com

УДК 629.331.073.6:621.43.038.3

К.В. Борак, С.В. Міненко, В.С. Савчук, Д.О. Буката

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ

У роботі розглянуто сучасні тенденції та перспективні напрямки підвищення надійності дизельних автотракторних двигунів. Проаналізовано основні конструктивні та технологічні рішення, спрямовані на збільшення ресурсу роботи силових агрегатів, зокрема застосування нових матеріалів (сталеві поршні, компактний графітовий чавун), вдосконалення систем газорозподілу й паливоподачі, а також використання поверхневого зміцнення і високоточної механічної обробки деталей. Розглянуто роль сучасних мастильних матеріалів, систем фільтрації палива і повітря, а також вплив умов експлуатації на довговічність двигунів. Значну увагу приділено впровадженню адитивних технологій, інтелектуальних систем діагностики, цифрових двійників та методів предиктивного обслуговування, які дозволяють зменшити ймовірність відмов. Узагальнено зарубіжний досвід провідних виробників (Cummins, Caterpillar, MAN, Deutz), що демонструє ефективність інтегрованого підходу – від матеріалознавчих рішень до цифрових технологій управління. Наведено висновки про те, що майбутній розвиток дизельних автотракторних двигунів базується на синергії конструктивних, технологічних та експлуатаційних інновацій, які забезпечують їхню надійність і конкурентоспроможність у глобальному машинобудуванні.

Ключові слова: *дизельний двигун, надійність, автотракторна техніка, зносостійкість, мастильні матеріали, фільтрація.*

The article examines current trends and promising directions for improving the reliability of diesel automotive and tractor engines. It analyzes key design and technological solutions aimed at extending engine life, including the use of advanced materials (steel pistons, compacted graphite iron), improvements in valve timing and fuel injection systems, and the application of surface hardening and high-precision machining. The role of modern lubricants, fuel and air filtration systems, and the influence of operating conditions on engine durability are discussed. Particular attention is given to the implementation of additive manufacturing (3D printing), intelligent diagnostic systems, digital twins, and predictive maintenance technologies that minimize failure probability. The paper summarizes international experience from leading manufacturers (Cummins, Caterpillar, MAN, Deutz), demonstrating the effectiveness of an integrated approach — from materials engineering to digital control technologies. The study concludes that the future development of diesel engines is based on the synergy of design, technological, and operational innovations that ensure their reliability and competitiveness in modern mechanical engineering.

Keywords: *diesel engine, reliability, automotive and tractor machinery, wear resistance, lubricants, filtration.*

Надійність дизельних автотракторних двигунів залишається одним із визначальних критеріїв їх ефективності та довговічності. Сучасні дизелі широко застосовуються у транспортних засобах і сільськогосподарській техніці завдяки поєднанню високої економічності з міцністю і ресурсом роботи. Проте посилення експлуатаційних навантажень, екологічні вимоги та конкуренція з альтернативними силовими установками змушують конструкторів і технологів шукати нові шляхи підвищення надійності таких двигунів.

Одним із ключових напрямків підвищення надійності є застосування матеріалів з покращеними властивостями для виготовлення найнавантаженіших деталей. Яскравий приклад – перехід від алюмінієвих до сталевих поршнів у важконавантажених дизелях. Сталевий поршень витримує вищі температури та тиски, демонструє більшу міцність і зносостійкість. На відміну від алюмінію, сталь має близький до матеріалу циліндра коефіцієнт термічного розширення, що усуває проблему спрацювання верхніх канавок під поршневі кільця. Практика показала, що однодетальні сталеві поршні з спеціальними покриттями (фосфатування, графітні та інші захисні шари) здатні забезпечити ресурс роботи дизеля порядку «мільйона миль» пробігу без капітального ремонту (понад 1,5 млн км). Високоміцні чавуни з вермикулярним графітом (CGI) набувають поширення для виготовлення блоків циліндрів і головок: цей матеріал поєднує

відносну легкість з підвищеною міцністю, жорсткістю та втомною витривалістю у порівнянні із сірим чавуном і алюмінієм. Застосування компактного графітового чавуну дозволяє знизити вагу двигуна та рівень шуму без втрати надійності, що особливо важливо для сучасних дизелів, орієнтованих на високі навантаження та екологічні стандарти.

Традиційні схемі ГРМ із механічними штовхачами і необхідністю регулювання теплових зазорів поступово еволюціонують у бік безштовхачевих (lashless) систем. Сучасні гідравлічні штовхачі автоматично компенсують зазори, усуваючи потребу регулярного регулювання клапанів і таким чином знижуючи ризик відмов через людський фактор або знос деталей. Компанія Cummins у 2021 році впровадила таку систему в офф-гайвейних двигунах, а станом на 2025 рік розробила нове покоління безштовхачевого ГРМ, сумісного з гальмом двигуна, що демонструє підвищення надійності та скорочення обсягів сервісного обслуговування. Гідравлічні штовхачі не лише спрощують технічне обслуговування, але й забезпечують оптимальні фази газорозподілу за різних режимів, що покращує згоряння та знижує навантаження на клапанний механізм. Перспективним напрямом є відмова від розподільного вала взагалі – «безкулачкові» електромагнітні або електро-гідравлічні приводи клапанів, які досліджуються останні десятиріччя. Повністю електронно-керований ГРМ теоретично може покращити керованість процесів в циліндрі та усунути ряд обмежень традиційних механізмів, однак питання його довговічності й надійності потребують додаткових досліджень (існуючі прототипи поступаються класичним рішенням за ресурсом роботи).

Паливна система дизеля є критичною з точки зору надійності: понад 50% відмов двигунів спричинені несправностями саме паливної апаратури, часто через некондиційне пальне. Тому конструктивні заходи з підвищення ресурсу паливної системи мають прямий вплив на загальну надійність двигуна. Сучасні системи Common Rail забезпечують надвисокий тиск впорскування (до 2000–2500 бар і більше) з точним дозуванням палива. Використання прецизійних багатофункціональних форсунок із кількома отворами та електронним управлінням дозволяє досягти тонкого розпилення палива і рівномірного згоряння. Для продовження строку служби форсунок і паливних насосів високого тиску застосовують високоякісні матеріали та покриття: зокрема, форсунки виготовляють із корозійностійкої сталі та використовують тверді покриття на деталях, що труться, аби зменшити знос від контактів з паливом недостатньої якості. За рахунок цього зменшуються навантаження на компоненти і подовжується строк їх служби. Додатково, інженери впроваджують нові рішення для підвищення надійності систем паливоподачі в складних умовах. Наприклад, окремі зарубіжні патенти пропонують вбудовані пристрої підігріву дизпалива для полегшення холодного пуску в умовах мінусових температур, запобігаючи кристалізації парафінів та втраті подачі палива. В цілому, конструктивний розвиток паливної системи спрямований на забезпечення стабільного впорскування палива за будь-яких умов безвідмовно протягом усього ресурсу двигуна.

Застосування нових матеріалів і конструктивних рішень суттєво підвищує витривалість вузлів дизельних двигунів. Використання сталевих поршнів, високоміцних чавунів та спеціальних покриттів забезпечує стійкість до зносу і високих навантажень, дозволяючи сучасним двигунам напрацювати рекордні пробіги без відмов. Вдосконалення систем газорозподілу (гідроштовхачі, безкулачкові приводи) та живлення (прецизійні форсунки, стійкі матеріали) сприяє стабільній роботі двигуна і зменшенню ризику раптових несправностей. Таким чином, конструктивні інновації закладають фундамент підвищеної надійності дизельних агрегатів нового покоління.

Сучасні технології виробництва дозволяють підвищити якість виготовлення деталей двигунів, що безпосередньо впливає на їх надійність. Запровадження верстатів з ЧПУ (числовим програмним управлінням) для обробки деталей забезпечує мікронну точність виготовлення посадкових поверхонь, геометрії циліндрів, шийок колінвалів тощо. Висока точність сприяє рівномірному розподілу навантажень і зменшує ризик концентрації напружень або дисбалансів, що можуть призводити до втомних тріщин. Наприклад, завдяки CNC-обробці та суворому контролю геометрії вдалося досягти ідеального вирівнювання осей обертання колінчастого вала і валу розподільного, що підвищує плавність роботи двигуна та знижує знос підшипників. Поєднання точної обробки з оптимальними режимами термічної обробки (гартування, відпуск, хіміко-термічна обробка) значно покращує довговічність деталей. Зокрема, твердість і витривалість колінчастих валів та розподільчих валів підвищуються завдяки поверхневому

зміцненню – індукційному гартуванню чи азотуванню. Відомо, що дифузійне азотування створює твердий зміцнений шар на поверхні сталі, який підвищує межу витривалості матеріалу і опір втомному руйнуванню [1]. Дослідження показують, що саме від якості зміцнення шийок валів та кулачків залежить їх ресурс роботи у важких режимах; жорсткі вимоги виробників зобов'язують забезпечувати оптимальну глибину та твердість зміцненого шару для досягнення заданого моторесурсу. У результаті комплексного застосування високоточної механічної обробки і ефективної термообробки вдається отримати максимальну точність взаємодії деталей і їх довговічність: сучасні процеси гарантують плавність роботи та збільшення ресурсу двигуна.

Інноваційним трендом виробництва є застосування адитивних методів, зокрема 3D-друку металів, для виготовлення складних деталей двигунів. Компанія Cummins однією з перших почала експериментувати з 3D-друком як для ремонту, так і для серійного виготовлення елементів дизельних моторів. Адитивні технології дозволяють реалізувати конструкції, неможливі або дуже складні для традиційного лиття чи мехобробки. Наприклад, метод локального спікання порошку дає змогу «вирощувати» деталі з внутрішніми порожнинами складної форми – вдосконалені канали охолодження у голівках циліндрів або поршнях, оптимізовані системи подачі мастила тощо. Крім того, 3D-друк спрощує інтеграцію кількох деталей в один вузол: замість кількох окремих частин, з'єднаних кріпленнями або зварюванням, можна надрукувати єдину цільну деталь. Це усуває потенційні слабкі місця (стики, шви), знижує масу та підвищує міцність компоненту. За даними представників Cummins, об'єднання декількох частин у цільну друковану деталь дозволяє отримати легші, але міцніші та більш надійні компоненти вузлів двигуна. У перспективі це сприятиме спрощенню конструкції, скороченню кількості точок відмов та полегшенню ремонту. Наразі адитивні методи застосовуються переважно для дрібносерійного виробництва або виготовлення прототипів і запасних частин, однак розвиток технології та здешевлення 3D-друку поступово розширюють його використання і в масовому двигунобудуванні.

Поряд із новими методами виготовлення, впроваджуються й сучасні системи контролю якості, що не допускають в виробах дефектів, здатних знизити надійність. На підприємствах активно застосовуються автоматизовані системи неруйнівного контролю (ультразвукова дефектоскопія, рентген-контроль литва, 3D-сканування геометрії деталей), які на ранніх етапах виявляють тріщини, усадочні раковини, відхилення форми та розмірів. Цифрові технології та моделювання (CAE-системи, цифрові двійники) дозволяють ще на стадії проектування передбачити критичні зони концентрації напружень і оптимізувати конструкцію під технологічні можливості. Все це зменшує розкид якості деталей і забезпечує стабільність характеристик двигунів у експлуатації. Варто зазначити, що в сучасному двигунобудуванні все ширше застосовується концепція Design for Reliability – проектування з урахуванням надійності, коли конструктори спільно з технологами закладають у виріб здатність протистояти деградації протягом заданого терміну служби. Це досягається добором відповідних матеріалів, технологій обробки та збірки. Зокрема, у технологічних процесах впроваджують суворий контроль чистоти складальних операцій (щоб запобігти потраплянню абразиву чи сторонніх часток у двигун), підтримку оптимальних монтажних зазорів, застосування точних динамометричних інструментів для затягування різьбових з'єднань тощо. Кінцевою метою є отримання кожного окремого двигуна, який точно відповідає проектним параметрам і не містить прихованих дефектів, здатних проявитися відмовою під час роботи.

Новітні виробничі технології зробили значний внесок у підвищення надійності дизельних двигунів. Високоточна механічна обробка та оптимальні режими термічного зміцнення забезпечують високу якість критичних деталей (валів, шестерень, гільз циліндрів), знижуючи ймовірність передчасного зносу чи руйнування. Адитивні методи відкривають шлях до створення інтегрованих, полегшених і міцних компонентів, усуваючи слабкі місця традиційних конструкцій. Система всеохоплюючого контролю якості та орієнтація на надійність на всіх етапах життєвого циклу двигуна гарантують, що сучасні дизелі виходять з заводу з максимально можливим ресурсом і запасом міцності.

Правильний добір і своєчасна заміна моторної оливи – базовий чинник довговічності будь-якого двигуна. Якісне мастило виконує одразу кілька життєво важливих функцій: воно зменшує тертя між рухомими поверхнями, мінімізує їх знос, відводить тепло від поршнів, підшипників та інших гарячих деталей, а також змиває продукти зношування і нагару, утримуючи їх у масляному

фільтрі. У дизельних моторах, де тиск згоряння і механічні навантаження дуже високі, формування надійної масляної плівки є критичним для запобігання задирів і задирання поверхонь. За відсутності належної мастильної плівки метал треться об метал, що прискорює появу мікропошкоджень і вироботки деталей. Достатнє та безперервне змащення особливо важливе для пар тертя, таких як кулачок – штовхач розподільного вала, поршневе кільце – стінка циліндра, вкладиш підшипника – шийка колінвала. Крім того, масло виконує роль додаткового охолоджувача: воно відводить частину тепла від днища поршнів, підшипників і розподільних шестерень до піддону або теплообмінника мастильної системи. Сучасні оливи для дизелів збагачені пакетом присадок, які нейтралізують кислотні продукти згоряння, запобігають корозії та не дають утворюватися відкладенням нагару. Таким чином, якісна олива підтримує двигун в чистоті і захищає його від внутрішнього абразиву (сажі, металевої стружки), відфільтровуючи його разом з маслом.

Перспективи підвищення надійності дизельних автотракторних двигунів пов’язані з інтелектуалізацією та цифровізацією їх експлуатації, використанням нових матеріалів і наукових підходів до проектування. Інтеграція штучного інтелекту та систем датчиків дозволяє в реальному часі оптимізувати роботу двигуна і запобігати аварійним ситуаціям. Новітні матеріали і покриття, що наразі досліджуються, у перспективі зменшать зношування деталей практично до нуля. Розвинені методи аналізу надійності (FMECA, FTA) ще на стадії проекту допомагають закласти високий ресурс, а впровадження найкращих світових практик експлуатації гарантує реалізацію цього ресурсу на практиці. Зарубіжний досвід підтверджує, що комплексний підхід – від лабораторії до поля – здатен забезпечити безпрецедентну надійність сучасних дизельних двигунів. Курс на інновації та обмін технологіями між країнами дозволяє сподіватися, що дизельні силові агрегати ще довго залишатимуться еталоном витривалості та продуктивності у своїй галузі.

Список використаних джерел

1. Solangi E., Ali Memon I. Ayaz Memon M. This person is not on ResearchGate, or hasn't claimed this research yet.Failure Analysis of a Diesel Engine Crankshaft based on Finite Element Modeling. June 2023Journal of Applied Engineering & Technology (JAET) 7(1):1-9. DOI:10.55447/jaet.07.01.82.

Борак Костянтин Вікторович – д.т.н. професор заступник директора з навчальної роботи Житомирського агротехнічного фахового коледжу, e-mail: koss1983@meta.ua

Міненко Сергій Вікторович – к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Поліського національного університету, м. Житомир, e-mail: dgs-ua@ukr.net

Савчук Віталій Сергійович – здобувач освіти ОС «Магістр» Поліського національного університету, м. Житомир

Буката Дмитро Олександрович – здобувач освіти ОС «Магістр» Поліського національного університету, м. Житомир

Borak Kostyantyn Viktorovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Academic Affairs, Zhytomyr Agrotechnical Professional College, e-mail: koss1983@meta.ua

Minenko Serhii Viktorovych – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Agroengineering and Technical Service, Polissia National University, Zhytomyr, e-mail: dgs-ua@ukr.net

Savchuk Vitalii Serhiiovych – Master's Degree Student, Polissia National University, Zhytomyr

Bukata Dmytro Oleksandrovych – Master's Degree Student, Polissia National University, Zhytomyr

УДК 629.113

Д.В. Борисюк, О.В. Вдовиченко, А.Є. Винокуров

ВПЛИВ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ НА ЯКІСТЬ КОМПЛЕКТУВАННЯ ТА ЗБИРАННЯ ВУЗЛІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ

Раціональна точність деталей, що входять у розмірні ланцюги, де в якості замикаючого ланцюга виступають параметри, що забезпечують задану довговічність, повинна передбачатися ще в процесі проєктування та конструювання деталі, вузла та машини в цілому, але може також коригуватися в процесі ремонту. Основним критерієм в оцінці норм взаємозамінності, що застосовуються, є експлуатаційні показники. Звичайно, що всі функціональні параметри повинні мати певні межі. У процесі конструювання чи модернізації необхідно домагатися, щоб усі функціональні параметри деталей, вузлів та агрегатів машин перебували у межах заданих допусків з урахуванням подальшого зносу.

В роботі представлено вплив похибки вимірювань на якість комплектування та збирання вузлів транспортних засобів під час ремонту.

Ключові слова: *транспортний засіб, ремонт, комплектування, дефектація, деталь, вузол, контрольно-вимірювальні пристрої та прилади, похибка вимірювання.*

The rational accuracy of parts included in dimensional chains, where the closing chain is the parameters that ensure the specified durability, should be foreseen during the design and construction of the part, assembly and machine as a whole, but can also be adjusted during the repair process. The main criterion in assessing the applicable interchangeability standards is operational performance. Of course, all functional parameters must have certain limits. During the design or modernization process, it is necessary to ensure that all functional parameters of machine parts, assemblies, and assemblies are within specified tolerances, taking into account subsequent wear.

The impact of measurement error on the quality of vehicle assembly and assembly during repair is proposed in the paper.

Keywords: *vehicle, repair, assembly, defect detection, part, assembly, control and measuring devices and instruments, measurement error.*

Одним із важливих факторів, що впливають на якість процесу комплектування деталей та збирання вузлів автомобілів, є рівень метрологічного забезпечення [1]. У сучасних умовах, на ремонтних підприємствах регулярно виникають ситуації, коли на комплектування та складання надходять запчастини та комплектуючі з різних та незалежних один від одного джерел. Така ситуація значно впливає на якість комплектування та складання і, як наслідок, в цілому на якість ремонтного процесу. Тому важливим є створення на ремонтному підприємстві ефективної системи верифікації запасних частин і комплектуючих [2]. Крім цього, відмінною особливістю ремонтного процесу є наявність на складальній операції зношених та відновлених деталей. З цього боку необхідно особливу увагу приділяти як якості процесу комплектування, так і якості і рівню метрологічного забезпечення процесу дефектації зношених деталей [3]. Сукупність заходів щодо підвищення якості дефектації та верифікації запасних частин, комплектування та складання надає позитивний вплив на рівень якості ремонту в цілому, що в кінцевому підсумку знижує втрати від внутрішнього та зовнішнього браку на ремонтному підприємстві.

Головними цілями ремонту машин є відновлення міцності, довговічності та точності деталей. Методи розрахунку норм точності при ремонті машин постійно удосконалюються, також застосовуються методи неповної взаємозамінності [4, 5]. Підвищення точності вимірювань відхилень розмірів та форми збільшує термін служби ущільнень у редукторах та інших вузлах машин та агрегатів.

Відхилення форми та розташування елементів поверхонь деталей, які підлягають обов'язковому дефектуванню під час ремонту, значно впливають на експлуатаційні властивості з'єднань. У нерухомих з'єднаннях великі значення цих відхилень призводять до нерівномірності натягів у з'єднаннях, через що знижується міцність з'єднання, герметичність і точність центрування, у рухомих з'єднаннях – до збільшення зносу поверхонь, що з’єднуються, і зниження довговічності.

Таблиця 1 – Вплив відхилення від співвісності корінних опор колінчастого валу на експлуатаційні показники двигуна ЗиЛ-130

Показник	Значення показників відхилення від співвісності корінних опор колінчастого валу, мм			
	0,02	0,05	0,1	0,2
Потужність двигуна, кВт	106,1	105,8	105,4	104,0
Питома витрата палива, мкг/дж	98,9	99	101,0	103,0
Коефіцієнт нерівномірності роботи	0,95	0,95	0,94	0,93

Таблиця 2 – Рекомендовані контрольно-вимірювальні прилади для контролю відхилень форми та розташування поверхонь

Контрольований параметр	Контрольно-вимірювальні пристрої та прилади				Область застосування (марка двигуна)
	Найменування	Діапазон вимірювання, мм	Ціна поділки, мм	Похибка вимірювання, мкм	
Овальність та конусо-подібність шийок колінчастого валу	Мікрометри: МК-75-1;	50…70	0,01	±10	Усі марки
	МК-100-1;	75…100	0,01		
	МК-125-1;	100…125	0,01		
	МК-200-2.	175…200	0,01		
Овальність та конусо-подібність отвору гільз циліндрів	Нутромір індикаторний НІ-160	100…160	0,01	±25	Усі марки
Овальність посадкових поясків гільз циліндрів	Мікрометри: МК-150-1,	125…150	0,01	±10	Усі марки
	МК-175-1	150…175	0,01		
Биття відносно загальної осі: корінних шийок; поверхні під шестерню	Пристрій індикаторний для контролю в центрах	0…2	0,01	±10	ЯМЗ-238; ЯМЗ-240
Биття відносно осі крайніх корінних опор: середніх корінних шийок; поверхні під шків	Пристосування індикаторне для комплексного контролю на призмах	0…2	0,002	±6	СМД-60; СМД-14
	Пристосування індикаторне на призмах	0…2	0,01	±10	ЯМЗ-238; ЯМЗ-240
Овальність та конусо-подібність поршневого пальця	Скоба важільна СВ-50	25…50	0,002	±5	Усі марки
Овальність отвору нижньої головки шатуна	Нутромір індикаторний НІ-100	50…100	0,002	±5	Усі марки

За даними [5, 6], зменшення конусоподібності, сідлоподібності та овальності шийок колінчастого валу з 0,01 до 0,006 мм дозволяє в 2,5 ... 4 рази збільшити ресурс вкладишів, ці ж положення відносяться і до уніфікованих з'єднань у техніці. Отже, відхилення від співвісності корінних опор колінчастого валу значно впливає на експлуатаційні показники двигуна (таблиця 1).

Недотримання норм відхилень форми та розташування поверхонь може призвести до зростання трудомісткості та зниження точності складання, збільшення обсягу операцій з підгонки та зниження показників довговічності роботи двигунів. З точки зору теорії машин і механізмів, через похибки кінематичних зав’язків, що викликаються цими відхиленнями, в

окремих деталях і з'єднаннях можуть виникнути додаткові статичні та динамічні навантаження, що призведе до швидкого зношування та втомного руйнування деталей.

У технічних вимогах на капітальний ремонт і довідниках з ремонту двигунів для контролю відхилення форми і розташування поверхонь, зазвичай, рекомендують використовувати ті самі засоби вимірювань, шо і для контролю лінійних розмірів (таблиця 2).

З даних таблиці 2 видно, що при виборі засобів вимірювань для контролю відхилень форми і розташування поверхонь не враховується похибка контрольованого параметра, що допускається, і вид вимірювання. Величини контрольованих параметрів, розглянутих у таблиці 2, визначають через формули розрахунку результатів непрямих вимірів. Тому при виборі засобів вимірювання необхідно враховувати формулу розрахунку контрольованого параметра.

Відсутність обґрунтованого, єдиного підходу до вибору засобів вимірювань для контролю відхилень форми та розташування поверхонь при ремонті робить актуальною роботу зі створення рекомендації щодо вдосконалення метрологічного забезпечення контролю таких важливих параметрів, як відхилення форми та розташування поверхонь відповідних деталей. Це особливо важливо при дефектації, так як в результаті аналізу зношеної поверхні робиться висновок про придатність її подальшого використання при з'єднанні з новою або зношеною деталлю.

Таким чином, для забезпечення якості складання необхідно розробити рекомендації щодо вдосконалення метрологічного забезпечення контролю відхилень форми та розташування поверхонь деталей під час ремонту машин.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити критерії вибору засобів вимірювань для контролю відхилень форми та розташування поверхонь деталей з урахуванням формули їх розрахунку як результату непрямого вимірювання.

Список використаних джерел

1. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів. Київ : Либідь, 2018. 400 с.

2. Строков О. П., Макаренко М. Г., Орлов В. Ф., Павленко В.О. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Частина 1. Основи будови та експлуатації автопоїздів. Київ : Грамота, 2005. 352 с.

3. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.

4. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 1. Теоретичні основи. Технологія / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 384 с.

5. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 2. Організація, планування і управління / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 383 с.

6. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 3. Ремонт автотранспортних засобів / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 495 с.

Борисюк Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця).

Вдовиченко Олександр Володимирович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця).

Винокуров Артем Євгенович – студент групи 1АТ-24м, факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця).

Dmytro Borysiuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia).

Vdovichenko Oleksandr – Assistant of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia).

Artem Vynokurov – a student of group 1AT-24m, Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia).

УДК 629.1

Д.В. Борисюк, О.В. Вдовиченко, В.О. Марисюк

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Транспортування овочів і фруктів, так само, як і іншої сільськогосподарської продукції, що швидко псується, вимагає обережного поводження з вантажем. Є низка обов'язкових правил, недотримання яких обов'язково призводить до пошкодження продукції.

В роботі представлено основні вимоги до перевезення сільськогосподарської продукції.

Ключові слова: *транспортний засіб, сільськогосподарська продукція, вимоги, транспортування, температура, вологість повітря, маршрут.*

The transportation of vegetables and fruits, as well as other agricultural products that are easily eaten, requires careful handling with vantage. Є low obligatory rules, lack of compliance with obligatory regulations lead to deterioration of products.

The main benefits for transporting agricultural products is proposed in the paper.

Keywords: *transport service, agricultural products, benefits, transportation, temperature, climate, route.*

Оскільки частина сільськогосподарської продукції належить до категорії швидкопсувної, вирішальну роль у життєвому циклі грає збереження якості продукції на всіх етапах «від поля до магазину». За даними Food and Agriculture Organization у 2024 у світі рівень втрат фруктів та овочів на стадії транспортування становить від 5% до 17%. Понад 20% сільськогосподарської продукції не доходять до кінцевого споживача через порушення правил експлуатації транспортних машин.

Сільськогосподарська продукція схильна до пошкоджень протягом усього життєвого циклу, починаючи з процесу збирання і закінчуючи перевезенням. Фактори, що впливають на шкідливість плодів під час виконання транспортно-технологічних операцій представлено на рис. 1.

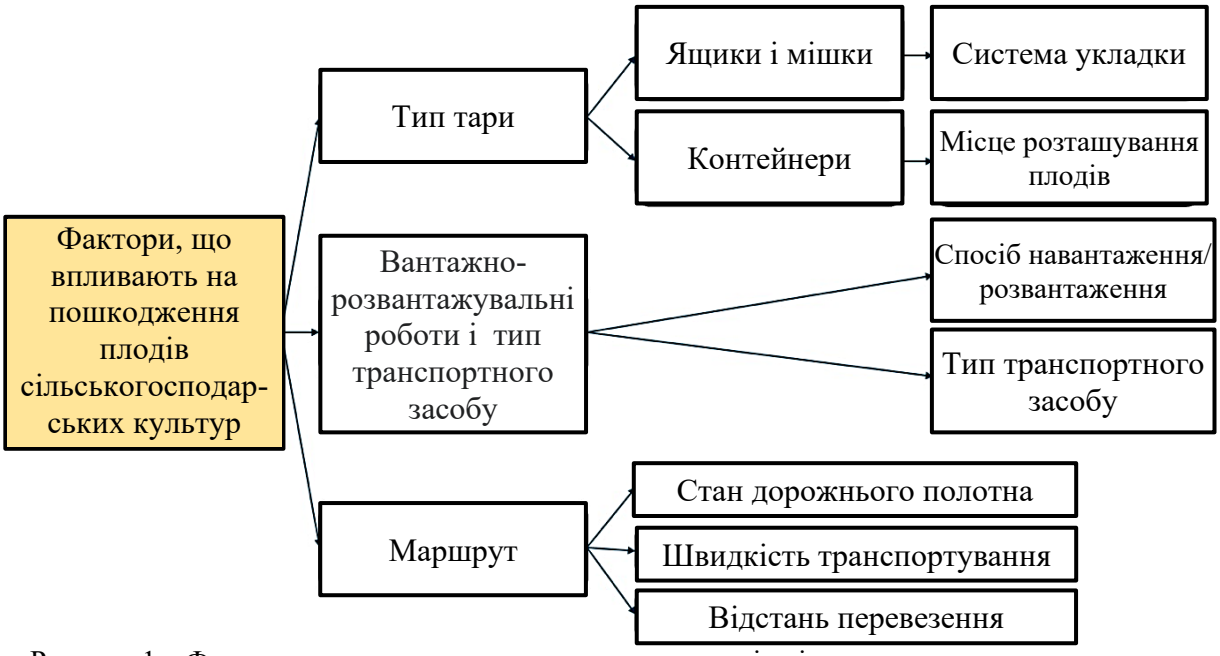


Рисунок 1 – Фактори, що впливають на ушкодження плодів під час виконання транспортно-технологічних операцій

На першому етапі перевезення сільськогосподарської продукції відбувається вибір тари. В якості тари зазвичай використовуються дерев'яні ящики або контейнери. При формуванні

продукції в контейнер досягається найкраща збережуваність плодів і овочів, а також скорочення часу на вантажно-розвантажувальні роботи.

Ключовою умовою збереження продукції є дотримання температурного режиму під час їх перевезення. Найоптимальнішим способом перевезення, що забезпечує високий рівень якості продукції з обмеженими термінами придатності є використання транспорту, оснащеного рефрижератором. Ще одним важливим аспектом є дотримання швидкісного режиму транспортного засобу. Ці вимоги дозволяють захистити продукцію від механічних пошкоджень.

Вибираючи упаковку для перевезення овочів, звертають увагу на два важливі аспекти: екологічність матеріалу та його здатність захищати плоди від тертя та ударів. Найчастіше для пакування овочів використовують поліетилен або спеціальний папір. Деякі види овочів транспортують у коробках, заповнених дерев'яною стружкою. Термін зберігання овочів також залежить від правильного укладання.

Деякі плоди та овочі виділяють етилен, природний рослинний гормон, який прискорює дозрівання. До них належать яблука, банани, груші, авокадо, персики, помідори та солодкий перець. Ця властивість використовується для прискорення дозрівання нестиглих плодів, але також може призвести до швидкого псування інших продуктів, тому їх слід зберігати окремо.

Розташування фруктів і овочів, що інтенсивно виділяють етилен, поряд з уже дозрілими неприпустимо, оскільки це може призвести до псування продукції і прискореного перезрівання, що в свою чергу викликає гниття. Режими перевезення та зберігання овочів та фруктів згідно ДСТУ ISO 6949:2005 «Фрукти та овочі. Зберігання в умовах регульованої атмосфери» та ДСТУ ISO 2169:2003 «Фрукти й овочі. Фізичні умови зберігання на холоді. Визначання та вимірювання» показано на рис. 2.

Абрикос, буряк, апельсин, гранат, пастернак, грейпфрут, груша, нектарин, вишня, персик, слива, яблуко та ін.	Температура 0…2 °С Вологість повітря 95…100%	Плоди активно виділяють етилен. Цитрусові часто обробляються дифенілом (біфеніл) і передають запах інших продуктів.
Ківі, шпинат, зелений горох, брокколі, спаржа, кукурудза, ревінь, зелена цибуля, ендівій, петрушка та ін.	Температура 0…2 °С Вологість повітря 95…100%	Плоди виявляють високу чутливість до етилену. Для продовження терміну зберігання поверхню плодів можна охолоджувати льодом.
Часник та цибуля	Температура 0…2 °С Вологість повітря 65…75%	Плоди погано переносять вплив вологого
Мандарин, журавлина, лимон, канталупа	Температура 4,5 °С Вологість повітря 95…100%	Лимон та мандарин часто обробляються дифенілом (біфеніл) і передають запах інших продуктів. Для продовження терміну зберігання поверхня плодів можна охолоджувати льодом.
Пізня картопля, солодкий перець, баклажани, огірки	Температура 10 °С Вологість повітря 85…90%	Плоди виявляють високу чутливість до етилену та дії низьких температур.
Авокадо, гарбуз, манго, банан, лайм, диня, рання картопля	Температура 13…15 °С Вологість повітря 85…90%	Плоди активно виділяють етилен і чутливі до дії низьких температур.
Помідор, кавун, батат	Температура 18…21 °С Вологість повітря 85…90%	Плоди виявляють високу чутливість до етилену.

Рисунок 2 – Режими перевезення та зберігання овочів та фруктів

Для економічної доцільності «небезпечні» культури часто вантажать в один рефрижератор, розміщуючи плоди, що сильно виділяють етилен, в кінці кузова, а схильні до його впливу – на початку. Це дозволяє продовжити їхнє спільне зберігання до двох діб.

При організації логістики необхідно враховувати всі фактори ризику, включаючи рівень виділення етилену, запах та обробку хімікатами. Наприклад, різкі запахи часнику або цитрусових можуть передаватися іншим фруктам таким, як банани. Крім того, деякі перевізники ігнорують правила, які особливо стосуються температурного режиму, що може призвести до псування плодів, оскільки не завжди низька температура «болісно» позначається на якості продукції. За цим параметром продукція ділиться на три категорії: низьку, середню та високу чутливість.

Список використаних джерел

1. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й., Равицький С. В. Економіко-математична модельвантажних перевезень автомобільним транспортом. *Матеріали XIV Між-народної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 25-27 жовтня 2021 року: збірник наукових праць*, 2021. С. 41-43.

2. Біліченко В. В. Виробничі системи на транспорті: стратегії розвитку : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2016. 268 с.

3. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2010. 408 с.

4. Фришев С. Г., Докуніхін В. З., Козупиця С. І. Транспортний процес в АПК: посібник для самостійної роботи студентів. Київ: Національна академія керівних кадрів культури і мистецтв, 2010. 460 с.

Борисюк Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, e-mail: bddv@ukr.net).

Вдовиченко Олександр Володимирович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3222).

Марисюк Владислав Олександрович – студент групи 1ТТ-24м, факультету машино-будування та транспорту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7).

Dmytro Borysiuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Politechnichna st., 7, e-mail: bddv@ukr.net).

Vdovichenko Oleksandr – Assistant of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Polytechnic Street, 7, room 3222).

Vladyslav Marysiuk – a student of group 1TT-24m, Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic Street).

УДК 629.1

Д.В. Борисюк, В.Й. Зелінський, В.М. Білодід

ОЦІНКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ

Організація пасажирських автомобільних перевезень являє собою складну багаторівневу соціально-технічну систему, що має безліч критеріїв, що відображають практичні підходи та нормативну основу реалізації діяльності з організації перевезень у країні, де найважливішим структурним елементом є моделі організації пасажирських автомобільних перевезень на рівні взаємодії між органами виконавчої влади та перевізниками.

В роботі запропоновано алгоритм оцінки та вдосконалення якості транспортного обслуговування пасажирським транспортом.

Ключові слова: *пасажирські перевезення, параметри якості, організація пасажирських автомобільних перевезень, алгоритм, фактор, удосконалення транспортного обслуговування, споживчими властивостями.*

The organization of passenger road transportation is a complex multi-level socio-technical system that has many criteria that reflect practical approaches and the regulatory framework for the implementation of transportation organization activities in the country, where the most important structural element is the model of organizing passenger road transportation at the level of interaction between executive authorities and carriers.

Algorithm for assessing and improving the quality of passenger transport service is proposed in the paper.

Keywords: *passenger transportation, quality parameters, organization of passenger road transportation, algorithm, factor, improvement of transport service, consumer properties.*

В даний час організація процесу пасажирських автомобільних перевезень базується на системі вимірювання транспортної роботи та оцінці якості послуг, що надаються населенню, розробленої в середині минулого століття. Це комплекс результативних показників, що визначають ефективність пасажирських автомобільних перевезень, який був обов'язковим до виконання однорідними за своєю структурою пасажирськими автотранспортними підприємствами за умов досить стійких пасажирських транспортних кореспонденцій та економічної стабільності. Нестійкість транспортних потоків, економічна нестабільність, кількісна і якісна різнорідність підприємств, що надають транспортні послуги населенню, вимагають постійного розвитку інструментів організації пасажирських автомобільних перевезень, що забезпечують необхідний рівень їх якості. Тому ця актуальна тема досліджень регулярно викликає інтерес у вчених та затребувана практикою. Система вимірювання транспортного обслуговування населення досить докладно представлена у сучасній навчальній та науковій літературі. Дослідженню складного комплексу якості автомобільних перевезень були присвячені роботи багатьох вчених [1-4].

Завдяки дослідженням перелічених авторів наприкінці XX-го століття та на початку XXI-го було сформовано існуючу структуру показників ефективності організації та основи побудови систем пасажирських автомобільних перевезень у сучасних умовах.

Нормативною основою для реалізації практичних підходів при організації пасажирських автомобільних перевезень в Україні є:

- ДСТУ 2610-94 «Пасажирські автомобільні перевезення. Терміни та визначення» - встановлює основні терміни та визначення, що використовуються в галузі пасажирських автомобільних перевезень;

- ДСТУ 2984-95 «Засоби транспортні дорожні. Типи. Терміни та визначення» - визначає терміни для дорожніх транспортних засобів, включаючи автобуси, що використовуються для перевезення людей;

- ДСТУ EN 13816:2022 «Перевезення. Логістика та послуги. Громадський пасажирський транспорт. Визначення, цільова призначеність і кількісне оцінювання якості наданих послуг» - встановлює критерії та методики для кількісної оцінки якості послуг громадського пасажирського транспорту;

- ДСТУ EN 15140:2022 «Громадський пасажирський транспорт. Основні вимоги та рекомендації щодо систем кількісного оцінювання якості наданих послуг» - містить основні вимоги та рекомендації для систем оцінки якості послуг громадського пасажирського транспорту;

- ДСТУ ГОСТ 30478:2006 «Автобуси для перевезення інвалідів. Загальні технічні вимоги» - встановлює технічні вимоги до автобусів, призначених для перевезення осіб з інвалідністю;

- ДСТУ UN/ECE R 36-03:2005 «Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження пасажирських колісних транспортних засобів великої місткості стосовно загальної конструкції» - використовуються для класифікації автобусів та визначення їх технічних і екологічних показників.



Рисунок 1 – Алгоритм оцінки та вдосконалення якості транспортного обслуговування

У ДСТУ EN 15140:2022 «Громадський пасажирський транспорт. Основні вимоги та рекомендації щодо систем кількісного оцінювання якості наданих послуг» перераховані такі основні групи показників якості за споживчими властивостями пасажирських автомобільних перевезень, що характеризуються ними: показники інформаційного обслуговування; показники комфортності подорожі; показники швидкості; показники своєчасності; показники безпеки багажу; показники безпеки; показники надійності функціонування транспортних засобів; показники професійної придатності виконавців транспортних послуг; показники готовності транспортного засобу та екіпажу до виконання перевезень; а також окремо виділено економічні показники ефективності пасажирських автомобільних перевезень: вартість проїзду та вартість додаткових послуг, що надаються у дорозі. Навіть просте перерахування груп показників якості тільки за споживчими властивостями пасажирських автомобільних перевезень дозволяє зробити висновок, що запропонована для реалізації система властивостей, характерна для пасажирських автомобільних перевезень, є суперечливою з точки зору мети, а, отже, і багатокритеріальною.

Суперечливість мети в системі пасажирських автомобільних перевезень, як правило, викликає досить великі труднощі для отримання оптимальних рішень щодо її організації за наявності високих вимог до об'єктивності аналітичного інструментарію управління, що застосовується. Безумовність цього твердження наголошується практично у всіх наукових працях, присвячених пошукам ефективних рішень при організації систем транспортного обслуговування. У дослідженні [3], присвяченому розробці методологічних аспектів управління якістю транспортного обслуговування, з посиланнями на роботи [2, 5–7] обґрунтовується необхідність удосконалення систем якості транспортного обслуговування, алгоритм якої представлено на рис. 1.

Проте, в даному алгоритмі не враховуються такі фактори як:

- особливості територіальної структури мегаполісу (розчленованість території, наявність природних і штучних перешкод, взаєморозташування житлових та промислових мікрорайонів і т.д.);
- площа міста і компактність освоєння території;
- форма транспортних зв'язків (коефіцієнт непрямолінійності транспортних зв'язків) та ін.

Не враховані фактору можуть бути предметом подальших наукових досліджень.

Список використаних джерел

1. Sung-won L. Integrated international transport and logistics system for North-East Asia. New York: UN. ESCAP, 2006. 136 p.

2. Dragu V. Aspecte specifice ale calităţii în transporturi. *Buletinul AGIR*. 2004. Vol. 3. P. 104–107.

3. Beirão G., Sarsfield-Cabral J. A. Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport Policy*. 2007. Vol. 14 (6). P. 478-489.

4. Costa A., Fernandes R. Urban public transport in Europe: Technology diffusion and market organization. *Journal of Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2012. Vol. 46, No 2. P. 269–284.

5. Марунич В.С., Шморгун Л.Г. та ін. Організація та управління пасажирськими перевезеннями: підручник. Київ: Міленіум, 2017. 528 с.

6. Вакуленко К.Є., Доля К.В. Управління міським пасажирським транспортом: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 257 с.

7. Давідіч Ю.О., Куш Є.І., Калюжний М.В. Параметри автотранспортних технологічних процесів при перевезенні пасажирів: навч. посібник. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 275 с.

Борисюк Дмитро Вікторович **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця).

Зелінський Вячеслав Йосипович **–** асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця).

Білодід Вадим Михайлович **–** студент групи 1ТТ-24м, факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця).

Dmytro Borysiuk **–** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia).

Zelinskyi Viacheslav **–** Assistant of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia).

Vadim Bilodid **–** a student of group 1TT-24m, Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia).

УДК 629.113

Д.В. Борисюк, В.Й. Зелінський, Я.Ю. Кіт

ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДИСТАНЦІЙНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Загальна мета контрольно-діагностичних робіт – отримання інформації про технічний стан автомобіля, його окремих агрегатів, вузлів та деталей для прийняття рішень щодо технічної експлуатації автомобіля.

Достовірна інформація дозволяє приймати оптимальні рішення щодо технічного впливу на окремі вузли та агрегати транспортного засобу, що підвищує ефективність роботи технічних служб та автомобільного транспорту.

В роботі запропоновано використання дистанційного моніторингу агрегатів, вузлів та деталей автомобілів для визначення їх технічного стану.

Ключові слова: *автомобіль, діагностування, контроль, система передачі даних, сенсорні мережі, інформація, радіозв'язок.*

The general goal of control and diagnostic work is to obtain information about the technical condition of the vehicle, its individual units, components and parts for making decisions regarding the technical operation of the vehicle.

Reliable information allows you to make optimal decisions regarding the technical impact on individual components and assemblies of a vehicle, which increases the efficiency of technical services and road transport.

The use of remote monitoring of units, assemblies and parts of automobiles to determine their technical condition is proposed in the paper.

Keywords: *car, diagnosing, control, data transmission system, sensor networks, information, radio communication.*

Сучасні технології дозволили створити особливий тип мережної інфраструктури – бездротову сенсорну мережу, що є автономною системою взаємопов'язаних давачів і виконавчих механізмів, що комунікують по радіоканалах [1-4].

Радіус дії такої мережі варіюється від кількох метрів до кілометрових відстаней, що досягається завдяки механізму послідовної передачі даних між вузлами. Ефективність покриття суттєво залежить від особливостей ландшафту та характеру навколишнього середовища [3].

Історія активного розвитку цих мереж бере початок у середині 90-х років минулого століття. Істотний прорив стався у 2000-х роках, коли досягнення мікроелектроніки уможливили економічно ефективне виробництво компонентної бази. До початку 2010-х років основним протоколом для таких мереж став стандарт ZigBee.

У наші дні спостерігається стійка тенденція до заміщення традиційних провідних систем бездротовими рішеннями у сфері телеметрії, віддаленої діагностики та інформаційного обміну. Цьому сприяє постійне здешевлення бездротових технологій за одночасного поліпшення їх технічних характеристик. Термін "сенсорна мережа" міцно закріпився в технічній термінології, позначаючи автономну систему, що самовідновлюється, здатну функціонувати при виході з ладу окремих елементів, що не потребують складного монтажу або обслуговування [2-4].

Вузлові елементи такої мережі є комплексними пристроями, що включають сенсорні компоненти для моніторингу навколишніх умов, обчислювальний модуль і приймальне обладнання. Така архітектура забезпечує можливість локальної обробки отриманих даних та підтримки комунікації із центральною інформаційною системою.

Протокол 802.15.4/ZigBee, що реалізує технологію ближнього радіозв'язку, що ретранслюється, став ключовим рішенням у розвитку сучасних самоорганізованих розподілених систем моніторингу та управління.

Відмінною рисою мереж ZigBee (рис. 1) є використання коміркової (сітьової) топології, що дозволяє пристроям взаємодіяти як безпосередньо, так і через проміжні вузли, формуючи гнучку та надійну комунікаційну структуру.

Сучасні бездротові сенсорні мережі є унікальною технологією, здатною забезпечити тривалий моніторинг і контроль в системах з критичними вимогами до автономності давачів.

Такі мережі формують розподілену інфраструктуру, що самоорганізовується, здійснює збір, обробку і трансляцію даних. Їхнє головне призначення – моніторинг фізичних параметрів навколишнього середовища та різних об'єктів [5-8].

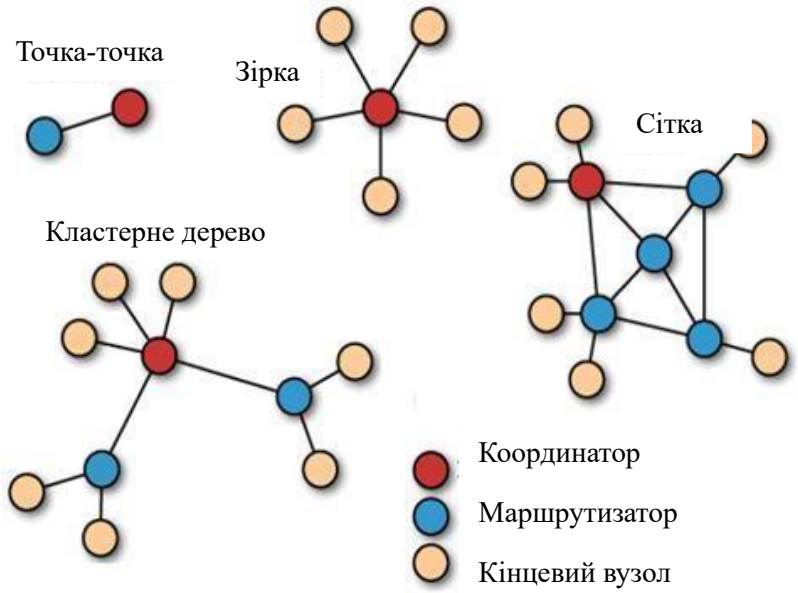


Рисунок 1 – Види ZigBee сенсорної мережі

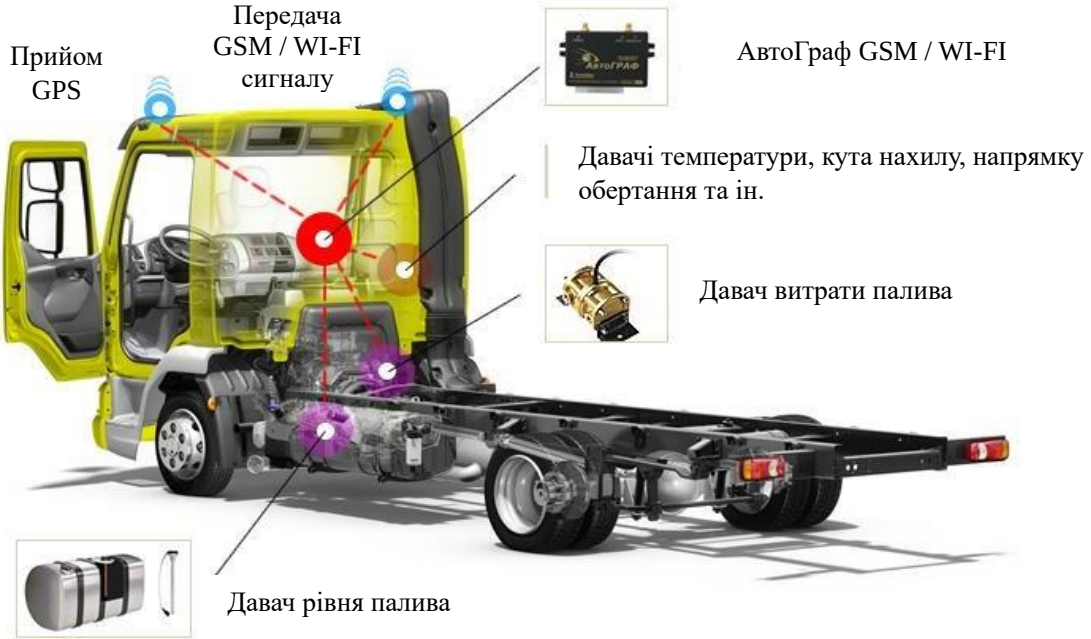


Рисунок 2 – Приклад встановлення обладнання для дистанційного моніторингу технічного стану автомобілів

В архітектурі бездротових сенсорних мереж виділяються три функціональні категорії вузлів:

- мережевий координатор (NCD – Network Coordinaion Device) виступає як центральний елемент управління, що відповідає за формування, налаштування та загальну координацію мережі. Це найбільш технічно складний компонент, що потребує суттєвих ресурсів пам'яті та енергозабезпечення;

- повнофункціональний пристрій (FFD – Fully Function Device) реалізує повний набір можливостей стандарту 802.15.4. Завдяки розширеним характеристикам пам'яті та енергоспоживання може виконувати координуючі функції та підтримує всі варіанти мережевої топології: від простої "точки-точки" до складної комірчастої структури. Має можливість прямої взаємодії з будь-якими вузлами мережі;

- пристрій з обмеженим функціоналом (RFD – Reduced Function Device) працює з базовим набором функцій 802.15.4. Підтримує лише прості топології ("точка-точка" та "зірка"), не виконує координуючих функцій і взаємодіє виключно через координатори та маршрутизатори мережі.

Приклад встановлення обладнання для дистанційного моніторингу автомобілів показано на рис. 2.

Відстеження експлуатаційних характеристик машин забезпечує контроль за дотриманням технологічних регламентів. Це стосується як основних агрегатів, так і додаткового обладнання. Система фіксує ключові параметри роботи: частоту обертання двигуна, споживання палива за годину роботи, температурний режим охолоджуючої рідини, стан масляної системи.

Навігаційний контроль через GPS надає вичерпні дані про дислокацію техніки, вектори переміщення та пройдені маршрути.

Список використаних джерел

1. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів. Київ : Либідь, 2018. 400 с.

2. James E. Duffy. Modern Automotive Technology. Tinley Park : Goodheart-Willcox Company, 2013. 1920 p.

3. Awari G. K., Kumbhar V. S., Tirpude R. B. Automotive Systems. Principles and Practice. Boca Raton : CRC Press, 2023. 302 p.

4. Gupta S. K. Textbook of Automobile Engineering. Noida : S Chand & Co Ltd, 2014. 833 p.

5. Борисюк Д. В. Математична модель зчеплення автомобіля Volkswagen Polo Sedan як об’єкта діагностування. *Вісник машинобудування та транспорту.* 2021. Вип. 1 (13). С. 23-32.

6. Борисюк Д. В. Математична модель коробки перемикання передач типу ЯМЗ-239 як об’єкта діагностування. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. Вип. 3 (156). С. 93-104.

7. Клименко Л. П., Прищепов О. Ф., Андрєєв В. І., Голдун В. Ю. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. П. Могили, 2013. 132 с.

8. Бурлака С. А., Митко М. В., Борисюк Д. В. Аналіз моделей діагностики для визначення технічного стану транспортних засобів. *Вісник Хмельницького національного університету.* 2024. №6 (337), Т.1. С. 39-42.

Борисюк Дмитро Вікторович **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (Вінниця).

Зелінський Вячеслав Йосипович **–** асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця).

Кіт Ярослав Юрійович – студент групи 1АТ-24м, факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця).

Dmytro Borysiuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia).

Zelinskyi Viacheslav **–** Assistant of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia).

Yaroslav Kit – a student of group 1AT-24m, Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia).

УДК 629.113:678.5

А.В. Боркут, Ю. Е. Рубчевський, В.О. Колесніков

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНСТРУКЦІЯХ АВТОМОБІЛІВ

В тезах розглянуто інноваційні напрями застосування композитних матеріалів у сучасному автомобілебудуванні. Показано, що використання полімерів, армованих вуглецевими, скляними та природними волокнами, дозволяє зменшити масу транспортних засобів без втрати міцності та підвищити їх енергоефективність. Описано сучасні технології виготовлення деталей, такі як Resin Transfer Molding (RTM) і Automated Fiber Placement (AFP), які забезпечують точність форми та властивостей. Відзначено перспективи «зелених» і багатофункціональних композитів, а також виклики, пов'язані з високою вартістю і складністю переробки матеріалів.

Ключові слова: *композитні матеріали, автомобілебудування, волоконно-армовані полімери, легкі конструкції, енергоефективність, інноваційні технології, «зелені композити».*

The theses discuss innovative directions in the application of composite materials in modern automotive engineering. It is shown that the use of polymers reinforced with carbon, glass, and natural fibers allows reducing the weight of vehicles without compromising strength while improving their energy efficiency. Modern manufacturing technologies such as Resin Transfer Molding (RTM) and Automated Fiber Placement (AFP) are described, ensuring high accuracy of shape and material properties. The prospects of "green" and multifunctional composites are highlighted, as well as challenges related to their high cost and recycling complexity.

Key words: *composite materials, automotive engineering, fiber-reinforced polymers, lightweight structures, energy efficiency, innovative technologies, green composites.*

У сучасному автомобілебудуванні дедалі більшого значення набуває зменшення маси конструкцій без втрати міцності. Саме тому композитні матеріали — наприклад, полімери з армуванням волокнами — використовуються для корпусних панелей, ременів, елементів шасі чи бамперів. Вони легші за металеві аналоги та мають добру стійкість до корозії. Застосування композитів допомагає знизити витрати пального або енергії для руху. Це важливо особливо для електромобілів, де кожний кілограм має суттєвий вплив на запас ходу. Деякі огляди показують, що впровадження композитів в автомобільну індустрію значно зростає останні роки [1–11].

Важливою тенденцією є використання волокон з високою міцністю — таких як вуглецеві або скловолокна — у поєднанні зі смолами, щоб створити конструктивно більш жорсткі й довговічні деталі. Наприклад, використання волоконно-армованих полімерів (FRP, fiber-reinforced polymers) вже визнано перспективним напрямом у виготовленні легких кузовних частин. Ця технологія дозволяє досягти високого співвідношення «міцність/вага». Також ведуться дослідження природних волокон — льону, джуту тощо — як екологічні альтернативи синтетичним армуючим волокнам [2]. У кількох роботах підкреслюється, що використовують «зелені композити» саме в оздобленні салону й неосновних конструкціях [3].

Ще важливою є інтеграція багатофункціональних композитів, які поєднують не лише конструктивні, але й інші властивості — наприклад, здатність накопичувати енергію або передавати тепло. Деякі сучасні розробки спрямовані на створення «структурних батарей», тобто компонентів, що одночасно є й частинами конструкції, й акумуляторними елементами. Це дозволяє економити загальну вагу й об'єм в електромобілях. Крім того, оптимізація мікроструктури та вдосконалення технологій виробництва дозволяють регулювати теплові характеристики композитів, їхню міцність та стійкість до навантажень [4].

Передній пристрій захисту від під'їзду (FUPD - front underrun protection device) — це елемент, встановлений на важких промислових транспортних засобах, призначений для обмеження пошкоджень, яких можуть зазнати легкові автомобілі під час зіткнення. У випадку зіткнення важкого автомобіля з легковим існує ризик, що легковик може потрапити під днище великого транспортного засобу. Щоб запобігти цьому, було запроваджено пристрій захисту від під'їзду, розташування якого показано на рисунку 1.

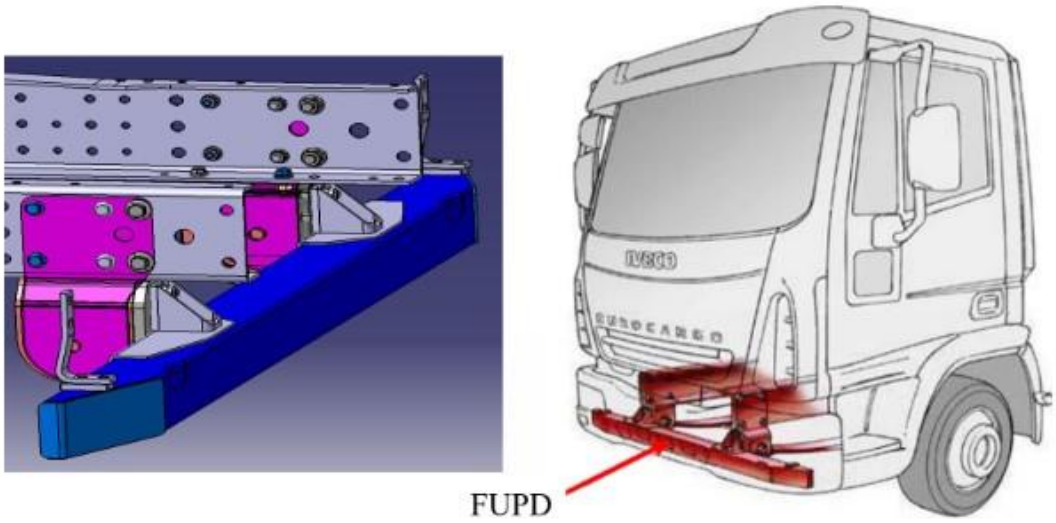


Рисунок 1. Ліворуч – 3D-зображення досліджуваного пристрою; праворуч – розташування FUPD на промисловому транспортному засобі [4].

У дослідженнях також зазначають, що попит на композитні матеріали у секторі автомобілів зростатиме з ростом ринку електромобілів і вимог до енергоефективності [5].

Композитні матеріали мають широке коло застосування та різні технології їх виготовлення [12-19].

Технологія виробництва деталей з композитних матеріалів — теж зазнає інновацій. Наприклад, методи як Resin Transfer Molding (RTM) або автоматичне укладання волокна — Automated Fiber Placement (AFP) — дозволяють краще контролювати форму, товщину і орієнтацію волокон у деталі. Це дозволяє точно підлаштовувати властивості під навантаження, зменшувати брак і спрощувати процес складання. Деякі дослідження показали, що заміна сталевої деталі на композитну може скоротити масу до 50 % залежно від конфігурації. Також проводять порівняння з традиційними рішеннями, враховуючи витрати, терміни виробництва, ресурс тощо [19].

Перспективи впровадження композитних матеріалів у автомобілебудуванні надзвичайно широкі [20 - 27]. За прогнозами міжнародних досліджень, обсяг ринку композитів у транспортній галузі до 2030 року зросте більш ніж удвічі. Основними бар'єрами залишаються висока собівартість, складність переробки термореактивних полімерів та потреба у стандартизації технологічних процесів. Проте розвиток рецикловних та біоорієнтованих матеріалів, автоматизація виробництва і 3D-друк композитних структур відкривають нові можливості. У найближчі роки саме ці технології можуть забезпечити створення легших, безпечніших і більш екологічних автомобілів нового покоління.

Найбільший виклик — це вартість сировини, складність виготовлення і утилізації композитних матеріалів. Деякі композитні матеріали важко або дорого переробляти, особливо якщо це термосетні полімери. Але йдуть дослідження гібридних матеріалів (комбінація металів + волокон), біо-композицій або матеріалів з кращими властивостями переробки. Також інновації йдуть в області контролю якості: неруйнівний контроль, моніторинг стану деталі в експлуатації тощо. Якщо ці виклики подолають — композитні матеріали можуть стати стандартом у багатьох вузлах автомобіля. Це відкриває шлях до більш легких, ефективних та екологічних машин.

Список використаних джерел

1. Khan, F., Hossain, N., Jannat Mim, J., Rahman, S. M. M., Iqbal, M. J., Billah, M., & Chowdhury, M. A. (2025). Advances of composite materials in automobile applications – A review. Journal of Engineering Research, 13(2), 1001-1023. https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017

2. Wazeer, A., Das, A., Abeykoon, C., Sinha, A., & Karmakar, A. (2023). Composites for electric vehicles and automotive sector: A review. Green Energy and Intelligent Transportation, 2(1), 100043. https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100043

3. Spasenović, J., & Blagojević, I. Composite materials in automotive industry: A review. Industrija, 2021, 49(2), 57–68. DOI: 10.5937/industrija49-34540

4. Tomasi, I.; Grandi, S.; Solazzi, L. Implementation of Composite Materials for an Industrial Vehicle Component: A Design Approach. *J. Compos. Sci.* **2025**, *9*, 168. https://doi.org/10.3390/jcs9040168

5. Stewart Mitchell. CompositesWorld. n.d. "Composites — End Markets: Automotive 2025." Accessed October 9, 2025. https://www.compositesworld.com/articles/composites-end-markets-automotive-2025

6. Композиційні матеріали: Електронний ресурс: навч. наоч. посіб. / О. М. Долгов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка» , 2024. –126 с.

7. Біліченко В. В. Вступ до фаху: навчальний посібник [2-ге вид. перероб. і доп.] / Біліченко В. В., Кужель В. П., Кашканов А. А., Романюк С. О. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с.

8. Боркут А. В., Колесніков В. О. Використання композитних матеріалів в автомобілебудуванні // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15–17 квітня 2025 року: зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 81–85.

9. Боркут А.В., Колесніков В.О. Приклад застосування та розрахунку композитних матеріалів у автомобілебудуванні за допомогою сучасних САПР. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 48–51.

10. Боркут А.В., Колесніков В.О., Ревякіна О.О. Приклад застосування та розрахунку композитних матеріалів у автомобілебудуванні за допомогою сучасних САПР. Частина 2. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 52–55.

11. Боркут А.В., Колесніков В.О., Васецька Л.О. Приклад застосування та розрахунку композитних матеріалів у автомобілебудуванні за допомогою сучасних САПР. Частина 3. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 56–59.

12. Боркут А., Колесніков В., Ревякіна О. Застосування композитних матеріалів при переробці вторинної сировини сільськогосподарських та побутових відходів // Молодь - науці і виробництву: Актуальні питання харчової промисловості: IV Всеукраїнська науково-технічна конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених (Кропивницький, 14 травня 2025 р.) [Електронне видання]. – Кропивницький: ХДАЕУ, ЗВО «Херсонський державний аграрно-економічний університет», 2025. – С. 17–18.

13. Ihnatieva, V. Improving the quality of complex profile products from composites used in earthquake-resistant structures. Procedia Structural Integrity 2024, 59, 487–493. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.069

14. Ihnatieva, V. (2024). Research of technological processing of semi-finished products in the manufacture of profile products from composite materials. Strength of Materials and Theory of Structures, (112), 268-272. DOI: https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.268-272

15. Ігнатьєва, В. Б., & Данильченко, С. М. (2024). Ways to create a safe environment for travelling on public roads of within settlements. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, *37*(2), 26-29. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-26-29

16. В. Б. Ігнатьєва і С. М. Данильченко, «ШЛЯХИ СТВОРЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ НА ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ В МЕЖАХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ», СучТехнБудів, вип. 37, вип. 2, с. 26–29, Чер 2025.

17. Игнатьев Б.Б., Игнатьева В.Б. Расчет технологических параметров при предварительном формовании полуфабриката стержневого изделия // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля. – 2007. – Частина перша. – № 7 (113). – С. 125-132.

18. Ігнатьєва В. Аналіз роботи профільних виробів, армованих волокнами композитів у конструкції / В. Ігнатьєва // Матеріали Міжнародої науково-технічної конференції „Міцність і

довговічність сучасних матеріалів та конструкцій“, 10-11 листопада 2022 року. - Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. - С. 60–61. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39062

19. Yan, L., & Xu, H. (2025). Lightweight composite materials in automotive engineering: State-of-the-art and future trends. Alexandria Engineering Journal, 118, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.12.002

20. Ставицький О. В., Стадник Л. Г., Колесніков В. О. Концепція автомобіля майбутнього // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 181 - 189.

21. Прохорова Т. В., Перчемлі І. Ф., Колесніков В. О. Матеріали та технології в автомобільній промисловості // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С.105 -112.

22. Татарінов В.Р., Бердус А.Ю., Кравцов О.В., Колесніков В.О. Сучасні матеріали для автомобілебудування // Матеріали регіональної науково-практичної конференції професійна освіта на Луганщині: теорія та практика 15–17 квітня 2014 року. м. Луганськ. - С. 218 - 223.

23. Колесніков В.О., Павлова Ю.В., Рулєвська Т.Ф. Застосування адитивних технологій в автомобільній галузі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: V-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2017 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 97–102.

24. Василенко О. Є., Безруков В. О., Шуліка С. О., Знова О. І., Іщенко Б. М., Колесніков В. О. Нові технологічні тенденції в автомобільному транспорті // Матеріали VII-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 8 - 10 квітня 2019 р., м. Вінниця. - С. 13 – 24.

25. Балицький О.І., Еліаш Я., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Мочульський В.М., Гребенюк С.О., Глюзицький О.О. Дослідження матеріалів для розробки гібридних автомобілів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 28-38.

26. Прохоров Е., Колесников В.А. Создание новых материалов для машиностроения // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції “Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД”. 19 квітня 2013 р., м. Краснодон. С. 365 - 367.

27. Савінова В. В., Стадник О. І., Колесніков В. О. Розвиток і впровадження нанотехнологій в автомобілях. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту: V-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 13–14 квітня 2017 р.: мат. конф. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2017. С. 121 -124.

Боркут Антон Валерійович **–** здобувач вищої освіти 3 курсу першого (бакалаврського) рівня спеціальності «Професійна освіта. Аграрне виробництво, переробка сільськогосподарської продукції та харчові технології» ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка» м. Полтава, м. Лубни.

Рубчевський Юрій Едуардович - здобувач вищої освіти 4 курсу першого (бакалаврського) рівня спеціальності «Професійна освіта. Транспорт» ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка» м. Полтава, м. Лубни.

Колесніков Валерій Олександрович **–** кандидат технічних наук, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу НН інституту технологій і торгівлі ДЗ "Луганский національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Полтава, м. Лубни.

Borkut Anton Valeriiovych – 3 st year student of the first (bachelor's) level majoring in "Vocational Education. Agricultural Production, Processing of Agricultural Products and Food Technologies" of the State Institution "Luhansk Taras Shevchenko National University", the city of Poltava, Lubny.

Rubchevsky Yuriy E. – a 4th year higher education student of the first (bachelor's) level in the specialty "Professional Education. Transport" of the State Educational Service "Luhansk Taras Shevchenko National University" in Poltava, Lubny.

Kolesnikov Valerii Olexsandrovich **-** PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Institute of Technology and Trade, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny.

УДК 656.11

Х. Бруннер, В.А. Макаров, Т.В. Макарова

АСПЕКТИ ОЦІНКИ АВАРІЙНОСТІ НА АВТОДОРОГАХ РЕГІОНУ

Виконано оцінку актуальності зрівняльного дослідження регіональної аварійності на автодорогах в Вінницькій області та Вільної землі Саксонії в ФРН. Розглянуто діяльність TU Dresden GmbH (VUFO) у сфері дослідження дорожньо-транспортних пригод та оцінки аварійності на автодорогах регіону. Запропоновано міждисциплінарний підхід та методи збору й аналізу даних для мінімізації ризиків і наслідків аварій. Проаналізовано внесок результатів досліджень у підвищення безпеки дорожнього руху та вдосконалення транспортної інфраструктури.

Ключові слова: *дорожньо-транспортні пригоди, Вінницький та Саксонський регіони, аварійність, безпека дорожнього руху, TU Dresden, VUFO, GIDAS, міждисциплінарне дослідження, транспортна інфраструктура.*

An assessment of the relevance of a comparative study of regional road accident rates in Vinnytsia region and the Free State of Saxony in Germany was carried out. The activities of TU Dresden GmbH (VUFO) in the field of road accident research and road accident assessment in the region were reviewed. An interdisciplinary approach and methods of data collection and analysis were proposed to minimize the risks and consequences of accidents. The contribution of research results to improving road safety and improving transport infrastructure was analyzed.

Keywords: *road accidents, Vinnytsia and Saxony regions, accident rate, road safety, TU Dresden, VUFO, GIDAS, interdisciplinary research, transport infrastructure.*

Аварійність на автомобільних дорогах Вінницького регіону не зменшується. Поліція області постійно інформує мешканців про існуючій рівень безпечності переміщення колісних транспортних засобів (КТЗ) по дорожній мережі регіону. На жаль, майже в кожному випуску “Вінницьких новин” [1] можна побачити інформацію про ДТП, які мають різні наслідки. Осінній місяць вересень 2025 року характеризувався суттєвими втратами та травмуванням вінничан. Поліція закликає всіх учасників дорожнього руху бути максимально уважними та обережними, а батьків - регулярно нагадувати дітям правила поведінки на автодорогах. Але відсутність дієвого системного підходу до використання усіх можливих сил Вінницької області для зниження рівня означеної аварійності не обумовлює бажаного результату. Слід поглиблювати наукові знання та практичні навички на прикладах успішного розв’язання колосальної світової проблеми в ФРН.

Щороку в Німеччині відбувається кілька мільйонів дорожньо-транспортних пригод. У 2023 році поліція зареєструвала понад 2,5 мільйона аварій, в яких загинуло 2839 людей, а близько 366 500 отримали травми [2]. Постійний прогрес у дослідженні аварій дозволив значно знизити кількість смертельних випадків із 1970-х років. Значним внеском у це є діяльність TU Dresden GmbH (VUFO), що у рамках проекту GIDAS використовує сучасні методи аналізу дорожньо-транспортних пригод. Інститут дослідження ДТП при TU Dresden GmbH проводить дослідження в районі Великого Дрездена, документуючи понад 45 000 аварій із 1999 року [2].

Основна мета полягає у зборі точних даних, розвитку міждисциплінарних дослідницьких ініціатив та розробці методів аналізу даних для запобігання можливим майбутнім аваріям та зниження їхніх наслідків. У 1999 році Федеральний інститут дослідження автомобільних доріг (BASt) та Асоціація досліджень автомобільної техніки (FAT) заснували спільний проект GIDAS для поглибленого аналізу аварій із травмами. Щороку у трьох місцях (Дрезден, Ганновер, Мюнхен) реєструється близько 2000 таких ДТП (рис. 1), що дозволяє отримати репрезентативні висновки для Німеччини.

Центральним аспектом дослідження аварій є міждисциплінарність. Для реконструкції ДТП та визначення множини факторів враховуються транспортні технології та технічний стан транспортних засобів, інфраструктура доріг, діяльність рятувальних служб, психологія водіїв і учасників руху, а також екологічні та погодні умови. VUFO GmbH спеціалізується на детальному зборі, оцінці та уточненні даних про аварії. Щорічно документується близько 1000 аварій із травмами.



Рисунок 1 – Візуалізація поля дослідження даних з виокремленням миттєвості процесу вимірювання особливості структури об'єкта [2]

Міждисциплінарна команда техніків, лікарів та психологів використовує сучасні технології, такі як лазерні сканери, 3D-фотограмметрія та зчитування електронних даних транспортних засобів, що дозволяє детально фіксувати обставини ДТП та аналізувати їхні причини (рис. 2).



Рисунок 2 – Візуалізація епізодів роботи спеціалістів GmbH VUFO

На основі зібраних даних виявляються тенденції аварійності, формуються рекомендації щодо законодавчих змін, розробляються технічні вдосконалення транспортних засобів, оптимізується інфраструктура та служби екстреної допомоги. Отримані результати підвищують безпеку дорожнього руху в середньостроковій і довгостроковій перспективі як у Німеччині, так і на міжнародному рівні. Діяльність TU Dresden GmbH (VUFO) робить вагомий внесок у підвищення безпеки дорожнього руху. Детальний облік та аналіз ДТП створює унікальну базу даних, що дозволяє міждисциплінарним підходом підвищувати ефективність запобіжних заходів, вдосконалювати транспортну інфраструктуру та розробляти нові технології для зменшення аварійності [4-6]. Отримані результати досліджень активно використовуються для формування державної політики у сфері безпеки дорожнього руху. Завдяки співпраці з виробниками автомобілів, органами влади та науковими установами, дані VUFO стають основою для впровадження інноваційних технічних рішень. Зокрема, розробляються сучасні системи допомоги водію, моделі поведінки учасників дорожнього руху та методи прогнозування ризиків. Аналітична база дозволяє визначати найбільш небезпечні ділянки доріг і розробляти рекомендації щодо їх реконструкції. Такі дослідження сприяють підвищенню культури водіння та зниженню кількості смертельних випадків на дорогах. Крім того, накопичені дані використовуються у навчальних програмах для підготовки фахівців з транспортної безпеки. VUFO активно інтегрує цифрові технології, штучний інтелект та геоінформаційні системи для точнішого аналізу ДТП.

Це дає можливість створювати динамічні карти аварійності та прогнозувати потенційно небезпечні ситуації. Досвід TU Dresden GmbH стає прикладом ефективної взаємодії науки, технологій і практик у сфері транспортної логістики. У перспективі діяльність організації

сприятиме формуванню «розумних» дорожніх систем, орієнтованих на повну безпеку учасників руху.

Висновки

1. Діяльність TU Dresden GmbH (VUFO) та проекту GIDAS забезпечує систематичний і детальний аналіз дорожньо-транспортних пригод, що дозволяє ідентифікувати ключові фактори ризику.
2. Міждисциплінарний підхід, що включає фахівців із транспортної техніки, медицини, психології та інфраструктури, підвищує точність і ефективність оцінки аварійності.
3. Зібрані дані сприяють розробці законодавчих, технічних та організаційних заходів для запобігання ДТП та зменшення наслідків аварій.
4. Використання сучасних технологій фіксації аварій, таких як 3D-сканування та зчитування електронних даних транспортних засобів, дозволяє деталізовано відтворювати обставини подій.
5. Результати досліджень сприяють оптимізації транспортної інфраструктури, підвищенню безпеки дорожнього руху та покращенню роботи служб екстреної допомоги, маючи як національне, так і міжнародне значення.

Список використаних джерел

1. Вінниця. Info. ДТП Вінниця. URL: https://vinnitsa.info/tags/dtp-vinnicya.
2. Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH (VUFO GmbH). Unfälle analysieren, um Risiken und Folgen zu minimieren. URL: https://www.dvr.de/pakt-fuer-verkehrssicherheit/projekte/verkehrsunfallforschung-an-der-tu-dresden-gmbh-vufo-gmbh
3. Energy Equivalent Speed-Projekt setzt Meilenstein in der Unfallrekonstruktion. URL: https://stiftung.adac.de/adac-stiftung-foerdert-ees-projekt/.
4. Хорст Бруннер, Томас Унгер; Макаров В. А. Про розвиток прогресу дослідження аварійності на автодорогах Німеччини. Матеріали XI-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 13-14 квітня 2023 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023.С. 338-340.
5. Х. Бруннер, Х. Лієрс, Т. Унгер, В. Макаров, Є. Смирнов, Т. Макарова. Про важливий досвід наукового дослідження та практичного зниження аварійності на автодорогах Німеччини “Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури”: збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроєкт», 2022. С. 31-33.
6. Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden. URL: http://www.vufo.de.

Хорст Бруннер – д.т.н., професор, Технічний університет Дрездена, e-mail: Horst.Brunner@VUFO.de.

Макаров Володимир Андрійович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: makarov@vntu.edu.ua.

Макарова Тамара Володимирівна **–** к.е.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tomamakarova@ukr.net.

Horst Brunner – Doctor of Technical Sciences, Professor, Technical University of Dresden, e-mail: Horst.Brunner@VUFO.de**.**

Makarov Volodymyr A.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: makarov@vntu.edu.ua.

Makarova Tamara V. – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tomamakarova@ukr.net.

УДК 629.33

Ю.В. Булік, В.І. Павлюк, В.П. Онищук, Н.Г. Куць

ПОЛІПШЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ОБЛАДНАНИХ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ МОДУЛЯМИ

У роботі обґрунтовано доцільність використання моделей цифрових двійників для моделювання систем транспортного засобу, обладнаних термоелектричними модулями. Розглянуто загальну структуру цифрового двійника, що використовується для дослідження теплових та електричних процесів, з метою оптимізації компонування, характеристик та режимів роботи модулів для підвищення енергоефективності систем. Запропоновано, для поліпшення якості цифрової моделі, використовувати дані отримані за результатами комп'ютерної симуляції процесів у програмах тримірного моделювання.

Ключові слова: *модель, цифровий двійник, термоелектричний модуль, енергоефективність.*

The study substantiates the feasibility of using digital twin models for simulating vehicle systems equipped with thermoelectric modules. The general structure of the digital twin is examined, which is employed to analyze thermal and electrical processes in order to optimize the configuration, characteristics, and operating modes of the modules to improve system energy efficiency. It is proposed to enhance the quality of the digital model by incorporating data obtained from computer simulations of processes in three-dimensional modeling software.

Keywords: *model, digital twin, thermoelectric module, energy efficiency.*

З огляду на підвищення енергоефективності, автономності та екологічності транспортних засобів є доцільним використання, термоелектричних модулів (ТЕМ) (генераторів (TEG) і охолоджувачів/нагрівачів (TEC)) [1–3], теплових насосів [4, 5] у різних їх системах. Теплові насоси забезпечують теплову регуляцію з високим коефіцієнтом перетворення, а ТЕМ (на основі ефекту Зеєбека/Пельтьє) надають можливість тонкого та локального керування температурою. Термоелектричні модулі, використовуючи ефект Зеєбека, дають змогу перетворювати тепло відпрацьованих газів двигунів, відведену енергію систем охолодження в електроенергію, зменшуючи споживання палива й навантаження на джерела електроживлення. Поряд з цим, ефект Пельтьє у модулях забезпечує компактне та безшумне, без потреби в компресорних установках, підтримання мікроклімату, охолодження електроніки, акумуляторів і систем керування.

Ефективність таких систем суттєво залежить від температурних режимів, теплових потоків, розташування модулів, матеріалів і умов експлуатації, а проведення фізичних експериментів для дослідження цих систем є складним, тривалим і дорогим. Традиційні експериментальні методи досліджень не дозволяють оперативно змінювати режими роботи системи, обмежені вимірювальними можливостями в зоні високих температур чи рухомих елементів з утрудненням врахування динаміки впливу зовнішніх факторів (температура навколишнього середовища, швидкість руху, навантаження). Крім того процес потребує значних матеріальних витрат (на прототипи, датчики, модулі тощо).

Зважаючи на це, обумовлена вагома роль і переваги цифрового двійника (близнюка) [5, 6], як віртуальної моделі термоелектричної системи, яка відтворює в реальному часі енергетичні (теплові, електричні) процеси у вузлах із TEG- і TEC-модулями, поведінку системи за різних режимів експлуатації об'єктів (зміна швидкості, навантаження, температури тощо), взаємодію з іншими системами та підсистемами. Використання цифрового двійника забезпечує безконтактне моделювання процесів за відсутності фізичного втручання у систему, як наслідок, зниження витрат на експериментальні дослідження та розробку прототипів. Завдяки цьому покращується можливість проведення оптимізації компонування та розташування термоелектричних модулів у конструкції досліджуваних об'єктів, на основі підвищення точності прогнозування ефективності рекуперації, процесів охолодження чи нагрівання, а також скорочуються терміни і вартість впровадження нових розробок. Результати таких досліджень є основою для поліпшення систем інтелектуального керування процесами, тепловими потоками в системах обладнання, що використовується на засобах автомобільного транспорту. Впровадження цифрових двійників

термоелектричних систем є необхідним кроком для розвитку технологій енергоощадних та інтелектуальних систем керування, з метою підвищення енергоефективності об'єктів автомобільного транспорту.

У дослідженнях використовується основна структура моделі цифрового двійника термоелектричної системи, яка загалом може бути представлена у вигляді системи, що складається із трьох взаємопов'язаних підсистем (рис. 1).

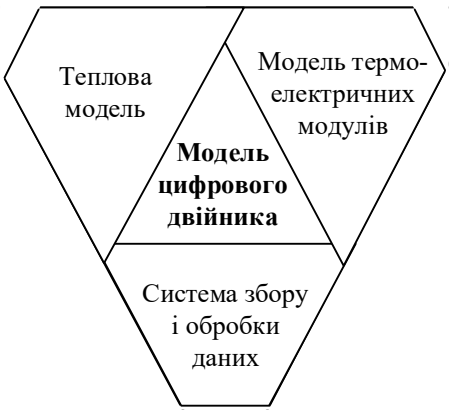


Рисунок 1 – Структура моделі цифрового двійника термоелектричної системи

Теплова модель об'єкта дослідження створюється для опису балансу тепла, теплових потоків (циркуляцію охолоджувальної рідини, теплопередачу через теплообмінники тощо). Модель термоелектричних модулів базується на математичному апараті, що враховує термоелектричні характеристики модулів (робочу різницю температур, електричні характеристики, ККД перетворення тощо). Система збору і обробки даних забезпечує зворотний зв'язок із реальною системою для калібрування моделі та прогнозування продуктивності.

Математичний апарат цифрової моделі часто спрощується через неможливість врахування багатьох чинників зумовлених складністю теплових і електричних явищ. Водночас, адекватність моделі залежатиме від математичного опису процесів та динаміки зміни даних під час моделювання.

Для поліпшення результатів моделювання на нинішньому етапі досліджень – у процесі формування цифрової моделі та алгоритму її роботи – використовуються як результати експериментальних фізичних досліджень у лабораторних умовах із використанням дослідної установки, так і дані, отримані за допомогою програм 3D моделювання [7]. За допомогою спеціалізованих програмних модулів для комп'ютерної симуляції теплових потоків та уточнених характеристик роботи і ТЕС-(TEG-)модулів отримуються більш якісні параметри та характеристики теплової та термоелектричної моделей.

Якість цифрової моделі має важливе значення, оскільки вона є базовим рівнем побудови цифрового двійника. Цифрова модель забезпечує математичне відображення фізичних процесів досліджуваного об'єкта, тобто є створеною віртуальною копією на його основі. У подальшому, шляхом інтеграції даних сенсорів об'єкта і забезпечення взаємного (двостороннього) обміну інформацією між реальною та віртуальною системами, на основі цифрової моделі формується вищий рівень моделі цифрового двійника з функціями аналізу, прогнозування та керування станом об'єкта.

Список використаних джерел

1. Bringing Thermoelectricity into Reality. Edited by Patricia Aranguren. www.intechopen.com. URL: https://www.intechopen.com/books/6575

2. Dolatıasl K. Electric Power Generation Using a Thermoelectric Generator from Coolant Fluid of Internal Combustion Engine of Cars. SIGMA. 2019; 37(2) : 415–22. URL : https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2030503

3. A Thermoelectric Generator Replacing Radiator for Internal Combustion Engine Vehicles. TELKOMNIKA, Vol.9, No.3, December 2011, pp. 523–530. URL : http://doi.org/10.12928/telkomnika.v9i3.744

4. Гречіхін Л.І., Куць Н.Г, Булік Ю.В, Дубицький О.С. Транспорт та вихровий тепловий насос. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. – №1(14). – С.78–86. URL : https://doi.org/10.36910/automash.v1i14.349

5. Optimization of energy flow – in thermal management of electric vehicles based on real vehicle testing and digital twin simulation. URL: https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104607

6. Fuller, A., Fan, Z., Day, C. and Barlow, C. (2020) Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access, 8, 108952-108971. URL : https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358

7. Павлюк В.І., Булік Ю.В., Дубицький О.С. Моделювання роботи обладнання з термоелектричними модулями в основі. Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернетконференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15-17 квітня 2025 року : збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.] – Вінниця: ВНТУ, 2025. – (PDF, 415 с.) – С. 267–268. / URL : https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/materialy_transport_04_2025.pdf

Булік Юрій Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua

Павлюк Василь Іванович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua

Онищук Василь Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: v.onyshchuk@lntu.edu.ua

Куць Надія Григорівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: kuts.nadia86@gmail.com

Bulik Yurii – candidate of technical sciences, Associate Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, Lutsk, e-mail: yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua

Pavliuk Vasyl – candidate of technical sciences, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, Lutsk, e-mail: v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua

Onyshchuk Vasyl – candidate of technical sciences, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, Lutsk, e-mail: v.onyshchuk@lntu.edu.ua

Kyts Nadiia – candidate of technical sciences, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, Lutsk, e-mail: kuts.nadia86@gmail.com

УДК 378.147:004.9:629.33

В.В. Бурдун, Н.О. Бикадорова, А.Ю. Рожкова, О.О. Ревякіна

ДЕЯКІ НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ТА НАВЧАННЯ БАКАЛАВРІВ ТА МАГІСТРІВ У ГАЛУЗІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

В тезах висвітлено особливості підготовки фахівців за спеціальністю «Професійна освіта (Транспорт)» в умовах цифрової трансформації освіти. Розглянуто застосування віртуальних лабораторій, цифрових платформ Moodle і Google Classroom, а також інноваційних методів навчання, що забезпечують поєднання теорії та практики. Показано роль кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка» (м. Лубни) у формуванні інженерних і педагогічних компетентностей здобувачів. Наголошено на важливості розвитку soft skills, участі у програмах академічної мобільності та співпраці з автотранспортними підприємствами. Зазначено, що інтеграція цифрових технологій сприяє підготовці конкурентоспроможних фахівців транспортної галузі.

Ключові слова: *професійна освіта, транспорт, цифрові технології, інноваційне навчання, компетентності.*

The theses highlight the features of training specialists in the field of "Professional Education (Transport)" under the conditions of digital transformation in education. The use of virtual laboratories, digital platforms such as Moodle and Google Classroom, and innovative teaching methods that combine theory and practice is discussed. The role of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business of Luhansk Taras Shevchenko National University (Lubny) in developing engineering and pedagogical competencies of students is emphasized. Attention is drawn to the importance of developing soft skills, participating in academic mobility programs, and cooperating with automotive enterprises. It is noted that the integration of digital technologies contributes to the training of competitive specialists in the transport sector.

Key words*: professional education, transport, digital technologies, innovative learning, competencies.*

Підготовка сучасних бакалаврів і магістрів у сфері автомобільного транспорту потребує впровадження інноваційних методів навчання, що відповідають динамічному розвитку транспортної галузі. Це сприяє формуванню фахівців, здатних ефективно діяти в умовах цифрової трансформації та глобальних змін. [1–5].

На кафедрі професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу Державного закладу «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка» (м. Лубни) [6, 7] здійснюється цілеспрямована підготовка фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю «Професійна освіта (Транспорт)». Освітній процес орієнтований на формування у здобувачів компетентностей, необхідних для роботи у сфері транспортних технологій, технічного обслуговування та експлуатації автомобільного транспорту.

Випускники спеціальності мають можливість професійної реалізації за інженерно-технічними напрямами, зокрема на посадах інженера-механіка з діагностики та експлуатації автомобільного транспорту, інженера-технолога з організації ремонту та технічного обслуговування автомобілів, інженера з організації автомобільних перевезень, інженера з охорони праці, старшого майстра дільниці, начальника виробничого чи технічного відділу, а також головного технолога.

Крім того, освітня програма передбачає педагогічну складову, що забезпечує підготовку майбутніх фахівців до викладацької діяльності. Випускники можуть працювати викладачами спеціальних та загальнотехнічних дисциплін у закладах професійно-технічної освіти, завідувачами навчальних лабораторій або інженерами з техніки безпеки в освітніх установах.

На кафедрі активно здійснюється науково-дослідна діяльність, до якої залучаються найбільш ініціативні та мотивовані здобувачі вищої освіти. Результати проведених досліджень відображено у низці наукових публікацій [8–35].

Використання віртуальних лабораторій у процесі підготовки майбутніх фахівців автомобільного транспорту створює умови для моделювання роботи транспортних систем, аналізу дорожніх ситуацій та відпрацювання навичок управління транспортними потоками без

ризику для безпеки. Такі інноваційні технології навчання сприяють глибшому розумінню теоретичних положень і забезпечують ефективне їх застосування на практиці [17, 18, 20].

Для забезпечення безперервності та доступності освітнього процесу активно впроваджуються цифрові платформи, такі як Moodle, Google Classroom та інші інтерактивні сервіси. Вони використовуються для організації дистанційного навчання, проведення тестувань, обміну навчальними матеріалами, а також для індивідуалізації навчальних траєкторій. Це забезпечує гнучкість освітнього процесу та підвищує його ефективність.

Викладачі застосовують сучасні педагогічні підходи — проблемно-орієнтоване навчання, кейс-метод, симуляційні тренінги та проєктну діяльність. Такі методи сприяють розвитку критичного мислення, аналітичних здібностей, комунікативної компетентності та вмінь приймати самостійні рішення у складних виробничих ситуаціях [36-41].

Важливим компонентом освітнього процесу є співпраця університетів з автотранспортними підприємствами, сервісними центрами та виробничими базами. Це дозволяє студентам проходити практику на сучасному обладнанні, брати участь у реальних виробничих і науково-дослідних проєктах, а також адаптуватися до умов майбутньої професійної діяльності [1, 13, 20, 42].

Значна увага приділяється вивченню міжнародних стандартів і нормативів у сфері автомобільного транспорту, що дає змогу студентам орієнтуватися у глобальному професійному середовищі та підвищує їх конкурентоспроможність на міжнародному ринку праці.

Під час реалізації освітніх програм особливий акцент робиться на формуванні *soft skills* — комунікаційних, організаторських, лідерських та командних навичок, які є важливою складовою професійної компетентності сучасного інженера. Такі компетенції враховуються при розробленні силабусів, робочих навчальних планів і програм дисциплін [13, 25].

Важливою складовою професійного розвитку студентів є участь у програмах академічної мобільності, зокрема Erasmus+, що відкриває можливості для навчання за кордоном, обміну досвідом та ознайомлення з найкращими європейськими практиками у сфері транспортних технологій.

Сучасні здобувачі вищої освіти також вивчають методи аналізу великих масивів даних (Big Data) для прогнозування транспортних потоків, оптимізації логістичних процесів та прийняття ефективних управлінських рішень. З огляду на актуальні виклики сьогодення, логістичні системи та цифрові технології управління транспортом набувають особливого стратегічного значення.

Інтеграція новітніх цифрових і симуляційних технологій у процес підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю «Професійна освіта (Транспорт)» сприяє формуванню висококваліфікованих фахівців, здатних ефективно працювати в умовах цифрової економіки, інноваційного розвитку транспортної галузі та сталого розвитку України.

Список використаних джерел

1. Біліченко В. В. Вступ до фаху: навчальний посібник [2-ге вид. перероб. і доп.] / Біліченко В. В., Кужель В. П., Кашканов А. А., Романюк С. О. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с.

2. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів: навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.

3. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Організація самостійної та практичної роботи: навчальний посібник/М.В.Митко, О.П. Шиліна, С.В., Цимбал – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 98 с.

4. Форнальчик Є.Ю., Оліскевич М.С. та ін. Технічна експлуатація та надійність автомобілів. – Львів: Афіша, 2004. – 492 с.

5. Автомобілі. Теорія експлуатаційних властивостей: навчальний посібник В.В. Біліченко, О.Л.Добровольський, В. О. Огневий, Є. В. Смирнов – Вінниця : ВНТУ, 2017.– 163 с.

6. Навчально-науковий інститут технологій і торгівлі. ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». URL: https://luguniv.edu.ua/?page_id=276

7. Сайт кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу. ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». URL:

https://sites.google.com/view/portb/%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0-%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%BD%D0%BA%D0%B0

8. Віктор Васильович Бурдун, Ольга Олександрівна Ревякіна. Використання сучасного комп'ютерного забезпечення в навчальному процесі для підготовки фахівців у галузі технологічної освіти. Збірник тез доповідей III-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2023». 01.06.2023 – 03.06.2023: Збірник тез [Електронний ресурс]. – Вінниця: ВНТУ. – 2023. – С. 440-441. ISBN 978-966-641-935-7. https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2023/paper/viewFile/18200/15037

9. Бурдун В. В., Бикадорова Н. О.; Хорошевський О. О. Приклад заміни ременя ГРМ на автомобілі Fofd Escort. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2023 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 58–62.

10. А.Ю. Рожкова, В.В. Бурдун, О.О. Ревякіна, Н.О. Бикадорова, Л.О. Васецька. Застосування комп'ютерного забезпечення та моделювання для автономних транспортних засобів. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 306-307.

11. Бикадорова Н.О., Бурдун В.В., Балицька В.О. Комп'ютерне моделювання як засіб для підвищення безпеки на автомобільному транспорті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 44–47.

12. Ревякіна О.О., Бурдун В.В., Колесніков В.О., Васецька Л.О., Рожкова А.Ю., Бикадорова Н.О. Приклади застосування деяких композиційних матеріалів на автомобільному транспорті. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII - та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 274–277.

13. В.В. Бурдун, В.О. Колесніков, Н.О. Бикадорова. Сучасні виклики при викладанні дисциплін в транспортній галузі. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 94-95. ISBN 978-966-641-950-0.

14. Рожкова А.Ю., Бурдун В.В., Колесніков В.О., Бикадорова Н.О., Ревякіна О.О. Приклади застосування деяких композиційних матеріалів на автомобільному транспорті. Частина 2. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII - та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 278–281.

15. Бурдун В.В., Колесніков В.О., Ревякіна О.О., Васецька Л.О., Колеснікова Є.Б. Використання сучасних комп'ютерних пакетів програм для моделювання механічної обробки модифікованих сталей та сплавів. Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: зб. наук. праць Міжнар. наук.-техн. конф. 8-9 лист. 2022. Запоріжжя: Національний університет Запорізька політехніка з УкрНДІСпецСталь, 2022. С. 78–80.

16. Бикадорова Н. О., Бурдун В. В., Сидоренко Р. С. Комп'ютерне моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2023 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 38–42.

17. Колесніков В.О., Колеснікова Є.Б. Перспективи застосування технологій віртуальної та доповненої реальності при викладанні дисциплін пов'язаних з транспортною галуззю // Сучасна наука та освіта: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Старобільськ, 14-15 квітня 2021 року). Старобільськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2021. С. 37 – 39. ISBN 978-617-95067-7-2.

18. Колесников В.А., Сыроваткин С.В., Колесникова Е.Б. Использование технологий виртуальной реальности для подготовки специалистов в области автомобильного транспорта // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 18-22.

19. Василенко О. Є., Безруков В. О., Шуліка С. О., Знова О. І., Іщенко Б. М., Колесніков В. О. Нові технологічні тенденції в автомобільному транспорті // Матеріали VII-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 8 - 10 квітня 2019 р., м. Вінниця. - С. 13 – 24.

20. Колеснікова Є.Б. Сучасні тенденції при викладанні нових дисциплін // Сучасна наука та освіта: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Старобільськ, 14-15 квітня 2021 року). Старобільськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2021. С. 39 – 41.

21. Н.О. Бикадорова, В.О. Колесніков, В.В. Бурдун, В.О. Балицька. Застосування комп'ютерного моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 60-62.

22. Ярченко Б. В., Стадник Л. Д., Колесніков В. О. Нові технології в сучасних автомобілях // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 216 - 223.

23. Колесніков В. О. Індустріальна технологічна революція (Індустрія 4.0), як вона торкнеться автомобільної галузі // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 90 - 94.

24. Цимбалюк П. Ю., Колесніков В. О. Системи зв'язку транспортних засобів // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 204 - 208.

25. Бурдун В. В., Колесніков В. О. Сучасний науковий стан та деякі підходи для розробки навчальної дисципліни «Трибологія» // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2023 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 63–66.

26. Колесніков В. О., Ставицький О. В., Єльбакієв Д. Г., Шматко О. Е. Огляд комп'ютерних пакетів та програм, що застосовуються в автомобільній галузі // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 100 - 109.

27. Павлова Ю.В., Рулєвська Т.Ф., Колесніков В.О. Застосування адитивних технологій в автомобільній галузі // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С. 97 -102.

28. Балицький О.І., Колесніков В.О., Іщенко Б.М. Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 23–30.

29. Водневий вектор розвитку автомобільного транспорту // О.І. Балицький, В.О. Колесніков, О.О. Ревякіна, К.Ф. Абрамек, Л.М. Іваськевич, М.Р. Гаврилюк, Є.Б. Колеснікова // XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Присвячено дню працівників автомобільного транспорту і дорожнього господарства, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 25-27 жовтня 2021 року. С. 22 – 25.

30. Balitskii A., Hawrilyuk M., Eliasz J., Balitska W., Kolesnikow W. Oddziaływanie wodoru na kształtowanie i odprowadzenie wiórów w obróbce skrawaniem stali wysokostopowych z użyciem ekologicznych cieczy smarująco-chłodzących // Obrobka skrawaniem – 10. – Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Jana Burka // X Szkola Obrobki Skrawaniem, Rzeszow-Lancut, 2016. – S. 447-452.

31. Балицький О.І., Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р. Стан розвитку та впровадження водневих технологій. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту. IX-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. Матеріали. 14-15 квітня 2021 р., м. Вінниця, 2021. С. 15 – 19.

32. Балицький О.І., Еліаш Я., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Мочульський В.М., Гребенюк С.О., Глюзицький О.О. Дослідження матеріалів для розробки гібридних автомобілів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 28-38.

33. В.О. Колесніков, О.І. Балицький, М.Р. Гаврилюк, О.О. Ревякіна, Л.М. Іваськевич. Концепція врахування впливу водню на зміну властивостей та руйнування високоміцних важкооброблюваних сталей та сплавів в умовах тертя ковзання, кочення та за механічної

обробки. 15-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові, Львів, 20 – 21 травня 2021 р. Матеріали симпозіуму. – Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2021. С. 6 – 7.

34. Балицький О.І., Колесніков В.О., Хмель Я., Лопаткін І.О., Черняхов П.І. Дослідження зносостійкості матеріалів для деталей транспорту // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 60-64.

35. Ihnatieva, V. B. (2020). Development of labor potential through the intensification of creativity. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Fundamental and Applied Problems of Modern Technologies" dedicated to the 60th anniversary of Ternopil Ivan Puluj National Technical University and the 175th anniversary of the birth of Ivan Puluj, pp. 269–269.

36. Ігнатьєва В. Розвиток трудового потенціалу шляхом інтенсифікації творчості / В. Ігнатьєва // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: Міжнар. науковотехн. конф. до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя, 14–15 травня 2020 р., Тернопіль: матеріали. – Тернопіль: ТНТУ імені І. Пулюя, 2020. – С. 269.

37. Вікторія Ігнатьєва. Музеї як засіб соціокультурної адаптації іноземних студентів. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій “до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, С. 137–139.

38. Ihnatieva, V. Improving the quality of complex profile products from composites used in earthquake-resistant structures. Procedia Structural Integrity 2024, 59, 487–493. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.069

39. Ihnatieva, V. (2024). Research of technological processing of semi-finished products in the manufacture of profile products from composite materials. Strength of Materials and Theory of Structures, (112), 268-272. DOI: https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.268-272

40. Ігнатьєва, В. Б., & Данильченко, С. М. (2024). Ways to create a safe environment for travelling on public roads of within settlements. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 37(2), 26-29. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-26-29

41. В. Б. Ігнатьєва і С. М. Данильченко, «ШЛЯХИ СТВОРЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ НА ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ В МЕЖАХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ», СучТехнБудів, вип. 37, вип. 2, с. 26–29, Чер 2025.

42. Біліченко В.В. Вибір і обґрунтування критерію оцінки ефективності форм організації виробничої діяльності автосервісних підприємств / В.В. Біліченко, С.В. Цимбал, Ю.М. Звірик // Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи», – Вінниця: ВНТУ, 2020, Режим доступу: file:///C:/Users/User/Downloads/11057-39827-1-PB-1.pdf

Бурдун Віктор Васильович **–** к.пед.н., доцент, кафедри технологій виробництва і готельно-ресторанної справи, Навчально-науковий інститут торгівлі, обслуговуючих технологій та туризму, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни.

Бикадорова Наталія Олексіївна **–** ст. викладач кафедри технологій виробництва і готельно-ресторанної справи, Навчально-науковий інститут торгівлі, обслуговуючих технологій та туризму, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни.

Рожкова Анастасія Юріївна **–** викладач кафедри технологій виробництва і готельно-ресторанної справи, Навчально-науковий інститут торгівлі, обслуговуючих технологій та туризму, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни, Україна

Ревякіна Ольга Олександрівна **–** к.т.н., доцент, кафедри технологій виробництва і готельно-ресторанної справи, Навчально-науковий інститут торгівлі, обслуговуючих технологій та туризму, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни.

Burdun Viktor V. **–** Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Production Technologies and Hotel and Restaurant Business, Educational and Research Institute of Commerce, Serving Technologies and Tourism, State Institution "Luhansk Taras Shevchenko National University", Poltava, Lubny.

Bykadorova Natalia O. - Senior Lecturer, Department of the Department of Production Technologies and Hotel and Restaurant Business, Educational and Research Institute of Commerce, Serving Technologies and Tourism, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny.

Rozhkova Anastasiia Y. – Lecturer at the Department of Production Technologies and Hotel and Restaurant Business, Educational and Research Institute of Trade, Serving Technologies and Tourism, State Institution, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, Ukraine

Reviakina Olga O. **-** PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Production Technologies and Hotel and Restaurant Business, Educational and Research Institute of Trade, Serving Technologies and Tourism, State Institution "Luhansk Taras Shevchenko National University", Poltava.

УДК 656.073

В.В. Буряк, А.А. Кашканов

МОБІЛЬНІСТЬ ТА ЛОГІСТИКА ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНА В УКРАЇНІ: ПРОСТОРОВІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ОПЕРАЦІЙНІ БАР'ЄРИ

Проведено комплексний аналіз показників руху автотранспорту на ключових зернових маршрутах України за допомогою GPS-трекінгу та просторового моделювання в GIS. Зібрані дані про пройдену відстань, час у дорозі, зупинки та середню швидкість оброблено методами кластеризації маршрутів і розрахунку основних транспортних показників (потік, густина, коефіцієнт навантаження). Визначено п'ять регіонів із критичним навантаженням на дорожню інфраструктуру (Вінницька, Одеська, Львівська, Чернівецька та Закарпатська області) та проаналізовано причини затримок на під'їздах до кордонів і портів. На основі отриманих висновків розроблено рекомендації щодо модернізації дорожнього покриття, розширення пропускної здатності вузлових ділянок, інтеграції телеметрії в систему диспетчеризації та створення цифрової платформи для моніторингу перевезень у реальному часі.

Ключові слова: *зернові перевезення, GPS-трекінг, просторовий аналіз, GIS, інфраструктурне навантаження, логістичні виклики.*

A comprehensive analysis of vehicle movement indicators along key grain transport routes in Ukraine was conducted using GPS tracking and spatial modeling in GIS. Collected data on traveled distance, travel time, stops, and average speed were processed through route clustering and calculation of core transport metrics (flow, density, load coefficient). Five regions were identified with critical infrastructure load — Vinnytsia, Odesa, Lviv, Chernivtsi, and Zakarpattia — and the causes of delays near border crossings and ports were examined. Based on the findings, recommendations were developed for pavement modernization, capacity expansion of bottleneck segments, integration of telemetry into dispatch systems, and the creation of a digital platform for real-time transport monitoring.

Keywords: *grain transport, GPS tracking, spatial analysis, GIS, infrastructure load, logistical challenges.*

Перевезення зернових культур автотранспортом становить понад 70 % вантажообігу аграрного сектору України та є ключовим елементом продовольчої безпеки й економічного зростання країни. З огляду на переорієнтацію експортних маршрутів з морських коридорів на наземні, навантаження на дорожню мережу значно зросло [1, 2]. Одночасно зростають логістичні ризики у вигляді заторів на під'їздах до портів і митних пунктів, неефективного використання автопарку та підвищених експлуатаційних витрат. Наявні методи обліку руху дають загальну картину, проте не дозволяють детально аналізувати просторові закономірності та локальні «вузькі місця» [3, 4].

Використання GPS-трекінгу в поєднанні з геопросторовим моделюванням у GIS дозволяє проводити кластеризацію маршрутів, вимірювати інтенсивність руху та оцінювати завантаженість інфраструктури в реальному часі. Такий підхід відкриває можливості для обґрунтованого планування інвестицій у дорожнє покриття та оптимізації логістичних коридорів [5, 6].

Метою дослідження є виявлення просторових закономірностей руху зерновозів на ключових маршрутах, ідентифікація регіонів із критичним навантаженням на дорожню мережу та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності транспортних потоків. Досягнення цієї мети дозволить оптимізувати використання дорожньої інфраструктури, знизити операційні витрати перевізників і забезпечити сталість експорту зернових культур за умов зростаючого навантаження на наземні коридори.

У дослідженні використано комплексний підхід, що поєднує аналіз транспортних даних, просторове моделювання та логістичну оцінку. На першому етапі здійснено збір даних GPS-трекінгу та телеметрії зерновозів [7], що дозволило відтворити реальні маршрути руху, швидкісні режими, місця зупинок та часові параметри перевезень [8, 9].

Подальший аналіз виконано у GIS-середовищі (QGIS, ArcGIS) із залученням багатошарової просторової бази даних, яка включала дорожню мережу, розташування елеваторів, пункти перетину державного кордону, морські порти та коридори TEN-T (Trans-European Transport Network). Це забезпечило можливість просторового моделювання транспортних потоків та виявлення ключових закономірностей їх організації.

Для систематизації отриманих результатів проведено кластеризацію маршрутів за інтенсивністю руху та тривалістю перевезень, що дозволило виділити типові логістичні траєкторії та проблемні ділянки. Завершальним етапом став SWOT-аналіз основних логістичних вузлів, спрямований на оцінку їхніх сильних і слабких сторін, а також визначення можливостей і загроз для ефективності зернової логістики України.

Нижче наведена деталізована таблиця ключових показників руху зерновозів у п’яти регіонах із найбільшим трафіком (табл. 1). Додано метрики загальної тривалості простоїв і середньої витрати палива, що дають комплексне уявлення про ефективність перевезень.

Таблиця 1 – Ключові показники руху зерновозів

Регіон	V_{av} (км/год)	Q (авт./год)	I_{load}	Зупинки (од.)	Кордон	Порт	Завантаж./розвант.	Заправка	Тех. огляд	Відпочинок	Час простоїв (год)	Витрата палива (л/100 км)
Вінницька	45	120	0,85	3	0	0	1	1	0	1	2,5	28
Одеська	50	110	0,75	2	0	1	0	1	0	0	1,8	26
Львівська	40	100	0,80	4	1	0	1	1	1	0	3,2	30
Закарпатська	42	90	0,90	5	2	0	1	1	0	1	4,0	32
Чернівецька	38	85	0,95	6	3	0	1	1	0	1	4,5	33

У Вінницькій області з трьома зупинками домінують завантаження/розвантаження та заправка, приділено також час на відпочинок. Відсутність кордонних та портових затримок пояснює найвищу логістичну ефективність у регіоні. В Одеській області головними чинниками є портова операція та заправка, що формують дві зупинки та мінімальний час простоїв. Завдяки цьому середня швидкість найвища серед регіонів. Львівська область відзначається одною затримкою на кордоні та технічним оглядом. Один цикл завантаження/розвантаження та заправка підвищують загальний час простоїв до 3,2 год. У Закарпатській області переважають затримки на кордоні (2 зупинки) і додаткові операції – заправка, завантаження та відпочинок водія. Високе навантаження вказує на необхідність цифровізації митного контролю та координації графіків. Чернівецька область із трьома зупинками на кордоні має найгірші показники – низька середня швидкість, найвищий коефіцієнт завантаження I_{load}, максимальна кількість зупинок та час простоїв понад 4 год. Це потребує першочергового втручання в інфраструктуру прикордонних переходів.

Для виявлення зон з підвищеною інтенсивністю руху застосовано алгоритм DBSCAN [10]. Узагальнені результати кластеризації наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Кластеризація маршрутів і «гарячі» зони

Номер кластера	Локація	Інтенсивність	Площа кластера (км²)	Кількість рейсів
1	Вінницька обл.	висока	150	1 200
2	Одеська обл.	середня	120	1 100
3	Львівська обл.	середня	100	1 000
4	Закарпатська обл.	висока	90	900
5	Чернівецька обл.	висока	80	850

Коефіцієнт силуету (Silhouette score) кластеризації становить 0,62, що свідчить про чіткий розподіл зон за інтенсивністю руху. Кластери 1, 4 і 5 визначені як «гарячі» зони, де інтенсивність руху перевищує норму та потребує пріоритетного втручання.

Таблиця 3 містить основні ділянки з надмірним навантаженням, причини утворення заторів і середню затримку автотранспорту. Затримки на під’їздах до Ягодина й Чорноморська

сягають двох годин і спричиняють значні операційні витрати. Якісне дорожнє покриття та пріоритизація зерновозів може знизити затримки до 30-40 хвилин.

Таблиця 3 – Критичні ділянки та фактори затримок

Ділянка	Причина навантаження	Середня затримка (хв)	Рекомендоване рішення
Під'їзд до Ягодина	митні черги	120	розширити смуги; цифровізація митного контролю
Підходи до порту Чорноморськ	ремонтні роботи; звужена дорога	90	організувати об'їзди; пріоритезувати зерновози
Маршрут Львів – Рава-Руська	низька якість покриття	75	капремонт дорожнього полотна; мобільний моніторинг стану
Під'їзди до елеваторів Вінницької обл.	недостатня пропускна здатність	60	збільшити число з'їздів; оптимізувати графіки заїздів
Мукачево – Ужгород	інтенсивний транзитний трафік	80	виділити смуги для вантажівок; інтелектуальне регулювання

Як видно з таблиці 3, «гарячі» зони кластерів і критичні ділянки потребують комплексного підходу: модернізації дорожньої мережі, розширення інфраструктури та впровадження систем реального часу для оптимізації логістичних маршрутів.

У результаті просторового аналізу та кластеризації маршрутів зерновозів виявлено п'ять пріоритетних регіонів із критичним навантаженням на дорожню інфраструктуру. Найбільш перевантажені ділянки – під'їзди до митних пунктів та портів, а також сегменти з поганим дорожнім покриттям. Показники середньої швидкості, часу простоїв і коефіцієнта навантаження свідчать про необхідність комплексних заходів для підвищення пропускної спроможності та зниження операційних витрат перевізників.

Нижче, у таблиці 4, наведено комплекс рекомендацій із визначеними відповідальними структурами та термінами впровадження.

Таблиця 4 – Комплекс заходів для підвищення ефективності перевезень

№	Рекомендація	Опис заходу	Відповідальні	Термін	Очікуваний ефект
1	Модернізація під'їздів до портів і кордонів	Капітальний ремонт, розширення смуг, інтелектуальне регулювання трафіку	Мінінфраструктури, місцеві ОДА	12-18 міс.	Зниження затримок до 30–40 хв; підвищення середньої швидкості на 20%
2	Розширення пропускної спроможності на вузлових ділянках	Додавання смуг, нові з'їзди до елеваторів, оптимізація розкладу заїздів	Укрдорінвест, оператори елеваторів	6-12 міс.	Зменшення часу простоїв на 1–2 год; зниження витрат палива на 10%
3	Інтеграція телеметрії в диспетчерські системи	Платформа збору й аналізу GPS-даних у реальному часі	Логістичні оператори, IT-компанії	6 міс.	Оперативне керування маршрутами; скорочення простоїв на 15%
4	Створення цифрової платформи моніторингу	Візуалізація «гарячих» зон, аналітика, оповіщення про затори	Мінагрополітики, Міненерго	9 міс.	Підвищення прозорості логістики; швидке реагування на аварійні ситуації
5	Пріоритетизація TEN-T коридорів	Маркування, перевантаження доріг, пріоритетний рух вантажівок	Єврокомісія, Укравтодор	12 міс.	Підвищення пропускної спроможності на 25%; зростання експорту зерна на 15%

Запропоновані заходи забезпечать комплексний підхід до оптимізації зернової логістики: від відновлення дорожньої мережі до впровадження сучасних цифрових інструментів моніторингу. Спільна робота державних органів, операторів інфраструктури та IT-компаній сприятиме сталому розвитку аграрного експорту й підвищенню конкурентоспроможності України на світових ринках.

Список використаних джерел

1. Кашканов А.А., Буряк В.В. Проблемні питання організаційно-технічного розвитку перевезень зернових культур автомобільним транспортом в Україні. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2024. Том 1, №22. С. 163-169. https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1357.

2. Yanovska V., Król M., Pittman R. The logistics of grain exports from wartime Ukraine: What are the highest priority areas to Address? Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 2025, 30, 101363. https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101363.

3. Kyrgiakos L.S., Kleftodimos G., Vlontzos G. et al. A systematic literature review of data envelopment analysis implementation in agriculture under the prism of sustainability. Operational Research. An International Journal, 2023, 23, 7. https://doi.org/10.1007/s12351-023-00741-5.

4. Кашканов А.А., Буряк В.В. Управління ефективністю перевезення зернових культур автомобільним транспортом на основі критеріального підходу. Автошляховик України. 2025. №1. С. 56-62. https://doi.org/10.33868/0365-8392-2025-1-282-56-62.

5. de Oliveira A.L.R., Marsola K.B., Milanez A.P., Fatoretto S.L.R. Performance evaluation of agricultural commodity logistics from a sustainability perspective. Case Studies on Transport Policy, 2022, 10, pp. 674-685. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.01.029.

6. Kim Y.J., Lee B.K. Containerized Grain Logistics Processes for Implementing Sustainable Identity Preservation. Sustainability, 2022, 14, 13352. https://doi.org/10.3390/su142013352.

7. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Кужель В. П. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2020. 104 с.

8. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. Організація автомобільних перевезень. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 139 с.

9. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 113 с.

10. Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, Xiaowei Xu, et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. KDD'96: Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 1996, Vol. 96. 226–231.

Буряк Валерій Володимирович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: btr.vl@i.ua

Кашканов Андрій Альбертович – д.т.н., професор, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Valerii Buriak – Postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: btr.vl@i.ua

Andriy Kashkanov – Doctor of Technical Science, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

УДК: 629.3(043)

О.А. Бусилко, С.А. Вахнюк, М.А. Борець

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ З РОЗРОБКОЮ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

У роботі розглянуто методи технічного діагностування двигунів внутрішнього згорання на основі газоаналізу. Обґрунтовано їх значення як неруйнівного та комплексного способу контролю технічного стану автомобільної техніки. Особливу увагу приділено оцінці параметрів картерних і відпрацьованих газів для виявлення раптових несправностей двигуна. Досліджено методи, що застосовуються у військових підрозділах, та визначено їх роль у забезпеченні надійності й боєздатності автотехніки.

Ключові слова: *двигун внутрішнього згорання, газоаналіз, технічне діагностування, картерні гази, надійність автомобільної техніки.*

The paper considers methods of technical diagnosis of internal combustion engines based on gas analysis. Their significance as a non-destructive and comprehensive method of monitoring the technical condition of automotive equipment is substantiated. Particular attention is paid to the assessment of crankcase and exhaust gas parameters for the detection of sudden engine malfunctions. Methods used in military units are investigated and their role in ensuring the reliability and combat readiness of automotive equipment is determined.

Keywords: *internal combustion engine, gas analysis, technical diagnostics, crankcase gases, reliability of automotive equipment.*

Методи технічного діагностування двигунів внутрішнього згорання на основі газоаналізу забезпечують неруйнівний та комплексний контроль технічного стану двигуна, а також систем, що забезпечують його роботу[1].

Тому одним з напрямків подальшого вдосконалення методів оцінки технічного стану автомобільної техніки є впровадження в технологію обслуговування сучасних методів технічного діагностування[2].

В процесі експлуатації автомобільної техніки, суттєвим фактором необхідності контролю технічного стану двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) є підтримання та контроль надійності автомобіля, оскільки досвід російсько-Української війни і аналіз бойової та повсякденної діяльності військ в сучасних локальних війнах та конфліктах показує, що успішне виконання поставлених завдань залежить від маневреності і рухомості військ[3]. Процес контролю технічного стану двигуна передбачає прийняття рішення, щодо технічного стану об’єкту вимірювання. Таким чином, процес контролю технічного стану двигуна в ході його експлуатації є процес проведення технічного діагностування.

Об'єктом роботи є дослідження питань, щодо аналізу технічної діагностики двигуна внутрішнього згорання на основі вимірювання картерних газів.

Метою роботи є виявлення раптових несправностей за допомогою газоаналізу.

Методом дослідження є аналіз існуючих сучасних методів технічного діагностування шляхом газоаналізу.

В роботі досліджено методи технічної діагностики двигунів, які застосовуються у військових підрозділах Збройних Сил. Розглядалися існуючі пункти технічної діагностики автомобільної техніки, основні показники надійності та заходи, які дозволяють підтримати надійність автомобільної техніки на належному рівні та спосіб оцінки технічного стану двигуна по витраті картерних газів та концентрації газових компонентів у складі відпрацьованих газів[4].

Список використаних джерел

1. Ананьєв І.Г. Вентиляція картера двигунів внутрішнього згоряння (огляд). [Текст] / Ананьєв І.Г. - М.: ЦИНТИМАШ, 1961/

2. Говорущенко Н.Я. Діагностика технічного стану автомобілів / Микола Я. Г. - М.: Транспорт, 1970.

3. Дунаєв А.П. Організація діагностування при обслуговуванні автомобілів / Дунаєв А.П. - М.: Транспорт, 1987.

4. Молодан А.А. Оцінка технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна з урахуванням поділу потоків газів, що проходять в картер: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / А.А. Молодан.-Х., 2011р.

Бусилко Олег Анатолійович – старший викладач кафедри № 205, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, email: obusilko@ukr.net

Вахнюк Сергій Анатолійович – старший викладач кафедри № 205, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків; email: vakhniuk.ser@gmail.com

Борець Максим Андрійович – слухач штатний, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків; email: maksborec27@gmail.com

Busilko Oleg Anatoliyovych – senior lecturer at Department № 205, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv email: obusilko@ukr.net

Vakhnuk Serhii Anatoliiovych – senior lecturer at Department № 205, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv email: vakhniuk.ser@gmail.com

Borets Maxim Andriyovych– full-time student, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv; email: maksborec27@gmail.com

УДК 629.3(043)

О.А. Бусилко, С.А. Вахнюк, В.В. Маковецький

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЗМІННОГО СТРУМУ АПА-5Д ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНІХ ПРИЛАДІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ВИКОНАННІ ЗАВДАНЬ

У роботі досліджується підвищення надійності аеродромно-пересувного агрегату АПА-5Д шляхом удосконалення системи діагностики частоти змінного струму генератора ГТ40ПЧ6. Запропоновано використання тахогенератора та вимірювальних приладів для більш точного контролю частоти. Це рішення дозволяє зменшити ризик відмов під час обслуговування повітряних суден, продовжити ресурс генератора та покращити економічну ефективність експлуатації агрегату.

Ключові слова: *аеродромно пересувний електроагрегат, генератор змінного струму, система діагностики, частота струму, автоматичне регклювання*.

The paper investigates the improvement of the reliability of the APA-5D airfield mobile unit by improving the AC frequency diagnostic system of the GT40PCH6 generator. The use of a tachogenerator and measuring instruments for more accurate frequency control is proposed. This solution reduces the risk of failures during aircraft maintenance, extends the generator's service life, and improves the economic efficiency of the unit's operation.

Keywords: *airfield mobile power unit, alternating current generator, diagnostic system, current frequency, automatic regulation.*

Підвищення якості проектування, виготовлення і експлуатації аеродромних пересувних електроагрегатів є основним напрямом забезпечення їх надійності [1]. Припинення постачання електроенергії під час технічного обслуговування повітряних суден завдяки некоректної роботи системи автоматичного регулювання частоти струму вкрай небажане.

Практика використання АПА-5Д в ході виконання бойових завдань свідчить про те, що причинами стрибків частоти змінного струму можуть бути зовнішні збурювання - негаразди з паливною апаратурою двигуна, відхилення параметрів палива, температура дизельного двигуна, а також внутрішні причини - некоректна робота елементів системи автоматичного регулювання частоти – блоку БСЧ і виконавчих пристроїв РК-2Д [2].

Об’єктом дослідження являється аеродромно-пересувний агрегат АПА-5Д та системи діагностики частоти генератору змінного струму ГТ40ПЧ6 [3]. Метою дослідження являється розрахунок генератора змінного струму аеродромного пересувного агрегату, що застосовується у вдосконаленні системи діагностики частоти генератора змінного струму.

Удосконалення частоти діагностики змінного струму за допомогою встановлення тахогенератора та приладів, що дають змогу точніше відмітити та виміряти частоту до потрібних норм. Ця система являється новою та ще не застосовувалась на агрегаті, але було б дуже доцільно з точки зору тактико- технічних даних. В практичному застосуванні було б легкою в обслуговуванні та не висувало до себе високих вимог в період експлуатації, а лише в строки ТО обслуговування базового двигуна, який являється приводом електроагрегату.

При застосуванні нової системи діагностики частоти, збільшувався б строк експлуатації генератора та зчеплення автомобіля, що економічно вигідніше попередніх зразків.

Список використаних джерел

1. Курман М.М. «Розрахунок та конструкція електричних машин» 2001р.
2. Експлуатація автомобілів та засобів аеродромно – технічного забезпечення польотів-Х, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 2015
3. ВВ. Кав’юк, В.М. Краснокутський, О.А. Бусилко, О.М. Леоненко “ТЕХНІКА АЕРОПОРТІВ” частина 2, Харків, 2021.

Бусилко Олег Анатолійович – старший викладач кафедри № 205, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, email: obusilko@ukr.net

Вахнюк Сергій Анатолійович – старший викладач кафедри № 205, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків; email: vakhniuk.ser@gmail.com

Маковецький Володимир Володимирович – слухач штатний, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків; email: makovetskyi.vova@gmail.com

Busilko Oleg Anatoliyovych – senior lecturer at Department № 205, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv email: obusilko@ukr.net

Vakhnuk Serhii Anatoliiovych – senior lecturer at Department № 205, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv email: vakhniuk.ser@gmail.com

Makovetskyi Volodymyr Volodymyrovych – full-time student, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv; email: makovetskyi.vova@gmail.com

УДК 656.13:159.9:316.6

І.В. Віштак, Л.О. Майданевич

ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР У СИСТЕМІ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ: СОЦІАЛЬНІ ТА ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Розглянуто вплив соціальних та психологічних аспектів людського фактору на безпеку дорожнього руху та визначення можливостей їх урахування у сучасних стратегіях управління транспортними системами. Запропоновано використання світових підходів до локального контексту (регуляція, моніторинг, освіта водіїв) та продовження емпіричних досліджень із застосуванням телематичних і симуляційних методів.

Ключові слова: *безпека дорожнього руху, людський фактор, соціальний чинник, психологічний чинник, втома.*

The impact of social and psychological aspects of the human factor on road safety is considered and the possibilities of their consideration in modern strategies for managing transport systems are identified. The use of global approaches to the local context (regulation, monitoring, driver education) and the continuation of empirical research using telematics and simulation methods are proposed.

Keywords: *road safety, human factor, social factor, psychological factor, fatigue.*

Безпека дорожнього руху є однією з ключових сфер забезпечення сталого розвитку транспортної системи України. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, щорічно у світі внаслідок дорожньо-транспортних пригод (ДТП) гине близько 1,35 млн людей, а ще понад 50 млн отримують поранення різного ступеня тяжкості [1]. Одним із головних чинників, що впливають на рівень аварійності, виступає людський фактор, який охоплює психологічні, соціальні, культурні та професійні особливості поведінки учасників дорожнього руху.

Метою дослідження є аналіз впливу соціальних та психологічних аспектів людського фактору на безпеку дорожнього руху та визначення можливостей їх урахування у сучасних стратегіях управління транспортними системами. Завдання включають: узагальнення підходів до оцінки людського фактору в транспортній сфері; вивчення ролі психологічних станів і соціальних впливів; обґрунтування напрямів мінімізації негативного впливу людського фактору на дорожню безпеку.

Об'єктом дослідження виступає система забезпечення безпеки дорожнього руху, а предметом – соціальні та психологічні чинники, що визначають поведінку учасників транспортного процесу.

У роботі використано методи системного аналізу, статистичного узагальнення, порівняльного аналізу міжнародного досвіду, а також контент-аналіз наукових публікацій.

Людський фактор залишається найбільш вагомою складовою причинності ДТП у світі: сучасні оцінки вказують, що частка інцидентів, пов'язаних з людськими помилками (від помилок сприйняття до навмисної ризикової поведінки), сягає значної частки усіх аварій, що робить психологію і соціологію поведінки учасників руху пріоритетними напрямами для зниження смертності та травматизму на дорогах. За даними всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ, англ. WHO) у 2021–2022 роках щорічна загальна кількість смертей у дорожньому русі оцінювалася на рівні ~1,2 млн осіб, і поки що досягнення цілі «зменшити вдвічі» потребує масштабних інтегрованих заходів, де людський фактор є ключовою мішенню для інтервенцій [1]. Водночас, за даними ВООЗ щодо смертності внаслідок ДТП у 2020–2025 роках, видно тенденцію щодо зменшення загальної кількості смертей у дорожньому русі (рис. 1).

Особлива актуальність теми для України посилюється через внутрішні ризики: аналізи локальних досліджень виявляють високий вплив перевищення швидкості, алкогольного сп'яніння, втоми водіїв та відволікання на мобільні пристрої як визначальних чинників аварійності. На тлі цифровізації й підвищеної мобільності ця проблема потребує оновлених підходів до діагностики та профілактики поведінкових ризиків [2].

Значну увагу у світових дослідженнях приділено психологічним аспектам, зокрема втомі, стресу, агресивності водіїв [3]. Соціальні фактори, такі як рівень культури дорожнього руху, соціально-економічний статус учасників, а також наявність ефективних освітніх програм, істотно впливають на безпеку.

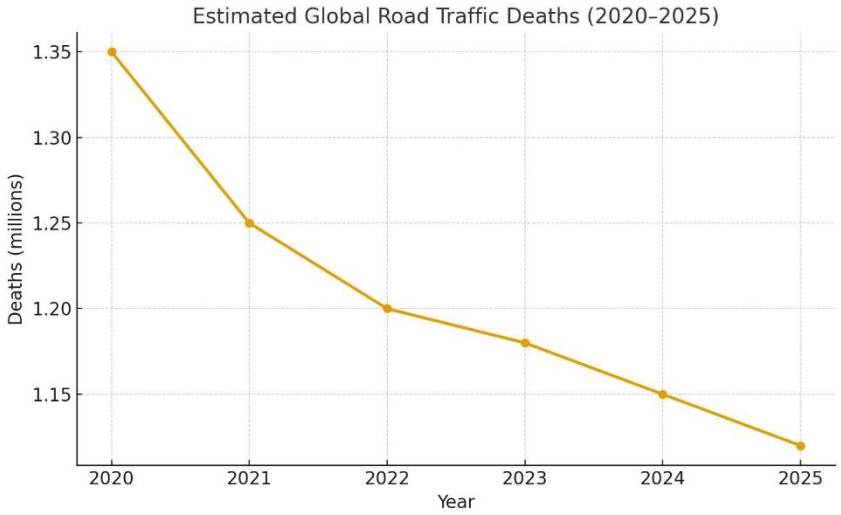


Рисунок 1 – Динаміка смертності у дорожньому русі за 2020–2025 роки

У своїй роботі [4] автори виокремлюють такі кластери людського фактору, як: *відволікання* (distraction — мобільні телефони, infotainment); *втома/сонливість*; *рівень агресії/дорожної злості*; *порушення правил (швидкість, ПДР)*; *вплив психоактивних речовин* та *недостатня кваліфікація/досвідченність* водія. Кожний із цих чинників має окремі механізми впливу на увагу, час реакції й прийняття рішень. Систематичні огляди останніх років підкреслюють роль хронічної втоми, порушень сну і динаміки робочого часу (значуща для професійних водіїв) у зниженні пильності та підвищенні ризику ДТП; також наголошено на необхідності включення біоритмічних та робочих графіків у моделі оцінки ризику [4].

Аналітичні звіти й дослідження 2020–2024 [5] показують значне зростання показників відволікання (у деяких країнах понад +20% за 2020–2022 рр.), що корелює зі зростом кількості аварій, пов’язаних з неуважністю водія. Працівники галузі відзначають особливу загрозу від інтегрованих екранів у салоні та додатків, які стимулюють візуально-маніпуляційну взаємодію під час руху [5]. Ряд досліджень у 2021–2024 рр. аналізували особистісні фактори (імпульсивність, толерантність до ризику, здатність до саморегуляції), які передбачають ймовірність агресивної поведінки на дорозі (road rage) та порушень ПДР, а також зв’язок із соціально-економічними детермінантами (стрес, умови праці, культура дорожнього руху) [6, 7].

Українські вчені А. Фалендиш та ін. підкреслюють важливість інтеграції психологічних тренінгів і соціально-комунікативних практик у підготовку майбутніх водіїв [8].

У ході дослідження було визначено, що людський фактор має багатовимірний вплив на систему безпеки дорожнього руху. Психологічні аспекти проявляються через зниження концентрації уваги, підвищення агресивності, невміння контролювати емоції. Соціальні чинники формуються під впливом середовища, цінностей суспільства та державної політики у сфері безпеки. Результати аналізу свідчать, що поєднання психологічних інтервенцій, культурно-освітніх програм та цифрових технологій (систем допомоги водію, телеметрії, моніторингу) дозволяє знизити ризики виникнення ДТП.

Людський фактор у системі безпеки дорожнього руху є комплексним явищем та залишається визначальною складовою дорожньої небезпеки, яке вимагає міждисциплінарного підходу. Проведений аналіз доводить, що відволікання, втома та психологічні особливості (агресія, імпульсивність) – це одні з перших чинників ризикової поведінки. Комплексні інтервенції, що поєднують технічні, організаційні та поведінкові заходи, мають найвищий потенціал для зниження аварійності. Для України нагальною є адаптація світових підходів до локального контексту (регуляція, моніторинг, освіта водіїв) та продовження емпіричних досліджень із застосуванням телематичних і симуляційних методів. Подальші дослідження доцільно зосередити на поєднані психологічних, соціальних і технологічних рішень і впровадженні систем штучного інтелекту для моніторингу стану водія та адаптації освітніх програм до конкретних соціальних груп.

Список використаних джерел

1. World Health Organization. Global status report on road safety 2023. Geneva : WHO, 2023. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789240077615

2. Ляшук О., Міронов Д., Мартинюк В., Аулін В., Цьон О., Марущак П. Аналіз ризиків дорожньо-транспортних пригод в Україні. Transport. 2024. Т. 39, № 4. С. 350–359. URL: https://doi.org/10.3846/transport.2024.23190

3. Sofi Dinesh, Rejikumar G., Sisodia G. S. An empirical investigation into carpooling behaviour for sustainability. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2021. Vol. 77. P. 181–196. ISSN 1369-8478. URL: https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.01.005

4. Guo F., Zhou Y., Wang X., Li W., Cai J. Literature review of driving fatigue research based on bibliometric analysis. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2024. Vol. 11, no. 6. P. 1401–1419. URL: https://doi.org/10.1016/j.jtte.2024.03.005

5. The State of Distracted Driving in 2023 & the Future of Road Safety. 2023. URL: https://documents.ncsl.org/wwwncsl/Transportation/CMT-2023-Distracted-Driving-Report.pdf

6. Faus M., Alonso F., Egido A., Rezapour M. Editorial: Human factors in transport and road safety. Frontiers in Psychology. 2023. URL: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1175488

7. OECD. Road Safety Annual Report 2022. International Transport Forum. Paris : OECD, 2022. URL: https://www.itf-oecd.org/road-safety-annual-report-2022

8. Фалендиш А., Помазков М., Ганжеєв Д. Розвиток методів впливу на психоемоційний стан учасників дорожнього руху як транспортну надсистему. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. 2023. № 47. С. 371–378. DOI: https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300123

Віштак Інна Вікторівна **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Майданевич Леонід Олександрович **–** к.філос.н., доцент кафедри захисту інформації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: maidanevychlo@vntu.edu.ua

Vishtak Inna V. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety and Pedagogy Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Maidanevych Leonid O. **–** PhD (Philos.), Associate Professor of the Department of Information Protection, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maidanevychlo @vntu.edu.ua

УДК 656.078:004.9

І.В. Віштак, В.С. Мошак

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ

Розглянуто роль цифрових технологій у розвитку транспортно-логістичних систем в умовах Індустрії 4.0. Проаналізовано сучасні наукові підходи до впровадження інтелектуальних транспортних систем, блокчейн-технологій, штучного інтелекту, big data та роботизації. Визначено основні бар'єри цифрової трансформації та запропоновано напрями подальших досліджень, спрямованих на підвищення конкурентоспроможності, екологічності та стійкості транспортної галузі.

Ключові слова: *транспортно-логістичні системи, цифровізація, інтелектуальні транспортні системи, блокчейн, сталий розвиток.*

The role of digital technologies in the development of transport and logistics systems in the context of Industry 4.0 is considered. Modern scientific approaches to the implementation of intelligent transport systems, blockchain technologies, artificial intelligence, big data and robotics are analyzed. The main barriers to digital transformation are identified and areas for further research aimed at increasing the competitiveness, environmental friendliness and sustainability of the transport industry are proposed.

Keywords: *transport and logistics systems, digitalization, intelligent transport systems, blockchain, sustainable development.*

Сучасна транспортно-логістична галузь перебуває на етапі активної цифрової трансформації, зумовленої викликами індустрії 4.0 та глобалізаційними процесами. Цифрові технології дедалі частіше застосовуються для оптимізації управління транспортними потоками, автоматизації логістичних операцій, зменшення витрат та підвищення ефективності роботи підприємств. У науковій літературі відзначається, що цифровізація сприяє створенню інтегрованих логістичних ланцюгів, розвитку електронного документообігу, використанню інтелектуальних транспортних систем та нових бізнес-моделей [1-3]. Водночас залишаються невирішеними питання адаптації конкретних транспортно-логістичних підприємств до цифрових змін, а також оцінка економічного, соціального та екологічного ефектів від їх упровадження.

Мета дослідження полягає у визначенні ролі цифрових технологій у розвитку транспортно-логістичних систем та формуванні підходів до їх ефективного впровадження в діяльність підприємств.

Об'єктом дослідження є сучасні транспортно-логістичні системи в умовах цифрової трансформації.

У роботі [1] розглянуто трансформаційні зміни, що відбуваються з основними складовими логістики в умовах четвертої промислової революції. Зокрема, акцент зроблено на матеріальних потоках, логістичних операціях, функціях, ланцюгах постачання, логістичних мережах і системах. Автором наведено умовний приклад логістичного ланцюга поставок у сучасних умовах та в Індустрії 4.0, а також охарактеризовано поділ компаній, що надають логістичні послуги, за рівнями операторів. Разом з тим, відкритими залишаються питання трансформації ланцюга постачання для конкретного підприємства, а також утворення доданої вартості готової продукції з урахуванням новітніх технологій (зокрема 3D-друку) та їхнього впливу на економіку.

У дослідженні [2] акцент зроблено на цифровій трансформації транспортно-логістичної сфери, зокрема на впливі інтелектуальних і цифрових технологій на підвищення ефективності перевезень, функціонування мультимодальних логістичних центрів, управління транспортними потоками та якість надання послуг. Визначено ключові чинники цифровізації: штучний інтелект, блокчейн, електронна комерція, роботизація та нові бізнес-моделі. Водночас підкреслено наявність стримувальних факторів, серед яких – нестача фінансування, дефіцит кваліфікованих кадрів і застаріла матеріально-технічна база. Відкритими для подальшого наукового пошуку залишаються питання ефективності впровадження цифрових технологій на рівні конкретних

підприємств, їхнього впливу на конкурентоспроможність, оптимізацію витрат та екологічну сталість.

У публікації [3] досліджено вплив цифровізації на транспортні системи, зокрема можливості створення єдиного ІТ-середовища для взаємодії учасників ринку перевезень, впровадження електронного документообігу, інтелектуальних транспортних систем та використання блокчейн-технологій. Автори визначають переваги цифрових технологій у прискоренні процесу оформлення перевезень, контролю доставки, підвищенні ефективності транспортних операцій та налагодженні комунікації з клієнтами. Проте наголошується на необхідності подальших досліджень, зокрема у напрямі впровадження цифрових технологій у конкретних транспортних системах, їхнього впливу на управління, безпеку, сталий розвиток та конкурентоспроможність галузі.

Таким чином, аналіз літератури свідчить, що проблематика цифрової трансформації транспортно-логістичної сфери залишається багатогранною та відкритою для подальших досліджень. У наукових працях чітко окреслено переваги цифровізації та визначено низку проблемних аспектів, однак відсутній детальний аналіз ефективності впровадження цифрових технологій на рівні окремих підприємств і систем, що формує перспективний напрям подальших наукових пошуків.

Основними напрямами наших дослідження є:

- аналіз впливу цифрових технологій (штучний інтелект, блокчейн, роботизація, big data) на ефективність управління транспортно-логістичними потоками [4];
- вивчення перспектив створення єдиного інформаційного середовища для інтеграції учасників транспортно-логістичного ринку;
- дослідження можливостей цифрових технологій у підвищенні конкурентоспроможності підприємств транспортної галузі;
- оцінка впливу цифровізації на екологічність перевезень та сталий розвиток логістичних систем [5];
- визначення бар'єрів упровадження цифрових рішень, зокрема дефіциту фінансових ресурсів, браку кваліфікованого персоналу та застарілих основних засобів [6].

У майбутніх наукових розвідках планується зосередитися на розробці методичного інструментарію для оцінювання ефективності впровадження цифрових технологій у транспортно-логістичні системи. Особлива увага буде приділена аналізу інтеграції інтелектуальних транспортних систем у діяльність конкретних підприємств, а також моделюванню впливу цифрових рішень на показники їхньої конкурентоспроможності, економічної стійкості та екологічної результативності.

Перспективним напрямом є створення практичних рекомендацій щодо формування єдиного інформаційного простору для учасників транспортно-логістичного ринку, що сприятиме зниженню транзакційних витрат, підвищенню прозорості ланцюгів постачання та забезпеченню стійкого розвитку галузі. Також передбачено вивчення інноваційних бізнес-моделей у сфері цифрової логістики та визначення механізмів подолання бар'єрів цифровізації.

Цифрові технології виступають ключовим чинником трансформації транспортно-логістичних систем, оскільки забезпечують інтеграцію учасників ринку, оптимізацію витрат і підвищення ефективності транспортних операцій. У перспективі цифровізація дозволить створити стійкі транспортні системи, які відповідатимуть вимогам глобалізованого ринку та концепції сталого розвитку. Проте для повноцінної реалізації потенціалу цифрових технологій необхідним є подолання організаційних, фінансових і кадрових бар'єрів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оцінку практичного ефекту цифровізації для конкретних транспортних підприємств, формування нових бізнес-моделей та забезпечення екологічності перевезень.

Список використаних джерел

1. Скіцько В. І. Логістика в Індустрії 4.0. Економіка та держава. 2016. № 4. С. 28–33. Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.economy.in.ua/pdf/4_2016/7.pdf

2. Гриценко Н. В. Цифрова трансформація транспортно-логістичної галузі. Розумний транспорт та інтегровані транспортні технології : збірник матеріалів наукових робіт Міжнародної науково-практичної конференції, 21–22 листопада 2023 р. Харків : ХНАДУ, 2023.

С. 137–138. Електронний ресурс. Режим доступу: https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/cb7a8920-f513-46a3-9fd9-1db5886143a6/content

3. Рибчук А. В., Пазюк Р. І., Пантюк Ю. М. Цифрова трансформація транспортних систем в інформаційній економіці. Інвестиції: практика та досвід. 2024. № 6. С. 51–56. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.6.51

4. Ran L., Shi Z., Geng H. Blockchain Technology for Enhanced Efficiency in Logistics Operations. IEEE Access. 2024. P. 1–1. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3458434

5. Kashem M. A., Shamsuddoha M., Nasir T. Smart Transportation and Carbon Emission from the Perspective of Artificial Intelligence, Internet of Things, and Blockchain: A Review for Sustainable Future. Preprints. 2024. DOI: https://doi.org/10.20944/preprints202410.0328.v1

6. Vieira E., Almeida J., Ferreira J. C., Bartolomeu P. Enabling Seamless Data Security, Consensus, and Trading in Vehicular Networks. ArXiv. 2024. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.13630

Віштак Інна Вікторівна **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Мошак Віталіна Серніївна **–** студентка другого курсу групи 1ТТ-24б, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vitalina16052005@gmail.com

Vishtak Inna V. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety and Pedagogy Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Moshak Vitalina S. **–** student of second year of group 1TT-24b, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vitalina16052005@gmail.com

УДК 629.33:621.352(477)

І.В. Віштак, Н.Г. Нікітін

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ АВТОТРАНСПОРТУ – ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УКРАЇНІ

Розглянуто актуальність розвитку зарядної інфраструктури для електротранспорту в Україні в умовах глобальної тенденції декарбонізації транспорту. Визначено основні проблеми: нерівномірність розташування зарядних станцій, недостатня потужність електромереж, відсутність єдиних стандартів. Запропоновано напрями вдосконалення, зокрема: впровадження державних програм підтримки, залучення приватних інвестицій, розвиток швидкісних зарядних комплексів на основних транспортних коридорах, інтеграція з відновлюваними джерелами енергії.

Ключові слова: *електротранспорт, зарядна інфраструктура, відновлювана енергія, екомобільність, енергетична ефективність.*

The relevance of charging infrastructure development for electric vehicles in Ukraine within the global trend of transport decarbonization is considered. The main problems are identified: uneven location of charging stations, insufficient power grid capacity, and lack of unified standards. The directions of improvement are proposed, in particular: implementation of state support programs, attraction of private investments, development of fast-charging complexes on major transport corridors, integration with renewable energy sources.

Keywords: *electric transport, charging infrastructure, renewable energy, e-mobility, energy efficiency.*

Розвиток зарядної інфраструктури є критично важливим в Україні на тлі глобального переходу до електротранспорту та міжнародних кліматичних зобов'язань. Згідно з дослідженнями, доступність зарядних станцій і їхня потужність прямо корелюють із темпами прийняття електромобілів, що впливає на зменшення викидів парникових газів [1]. Українська практика також демонструє значне зростання: станом на 2024 рік вже зареєстровано понад 120 тис. електромобілів та близько 17 тис. зарядних портів, але географічний розподіл і потужності ще недостатні для забезпечення комфортного використання електротранспорту у віддалених регіонах [2]. Законодавчі ініціативи та державні цільові програми передбачають розвиток мережі високопродуктивних та швидкісних зарядних станцій, що має стати фундаментом для стійкої електромобільності та реалізації європейського досвіду у вітчизняному контексті.

У статті [3] досліджено правові аспекти розвитку електротранспорту в Україні крізь призму необхідності удосконалення нормативно-правового забезпечення використання «зелених» технологій. Визначено основні прогалини у чинному законодавстві та потенційні ризики від прийняття окремих законопроєктів, що можуть гальмувати поширення електротранспорту. Проаналізовано сучасний стан інфраструктури зарядних станцій, розвиток персонального легкого електротранспорту та питання утилізації акумуляторних батарей. На основі порівняльного аналізу запропоновано напрями гармонізації національного законодавства з практиками країн ЄС, спрямовані на стимулювання переходу від традиційного автотранспорту до електричного.

Автори у своїй роботі [4] показують, що зарядні пункти зосереджені в містах або заможних регіонах, тоді як сільська місцевість чи периферійні райони є недоступними. Це створює "вакууми зарядки" (charging deserts), які стримують поширення електротранспорту. За дослідженнями автори визначили, що більшість зарядок розташовані у Нідерландах, Франції, Німеччині, а країни як Кіпр або Балтії мають менше ніж 1 % від загальної кількості зарядних точок.

Існують обмеження по електропостачанню, особливо коли одночасно підключаються багато швидких зарядних станцій або великих потужностей, що може викликати перевантаження ліній, підстанцій чи трансформаторів. Також планування часто не враховує ці обмеження, що призводить до затримок або неможливості під'єднання нових станцій. Автори у роботі [5] запропонували оптимізацію планування зарядних станцій у розподільчій мережі з урахуванням обмежень електромережі та потреб власників авто. *Також у своїй статі* [6] автори зазначають,

що навіть за великого зростання кількості EV не досягається баланс між попитом на заряд і здатністю мережі обслуговувати ці потреби.

Дефіцит уніфікованих стандартів для роз'ємів, протоколів комунікації, систем оплати та безпеки створює фрагментованість мережі, ускладнює сумісність зарядок для різних моделей авто і породжує невизначеність користувачів. У дослідженні [7] акцентується увага на потребі унормування стандартів для зарядної інфраструктури важкого електротранспорту. Наголошується, що інтероперабельність і сумісність є критичними чинниками розвитку, однак процес стандартизації відстає від темпів технологічних інновацій. У роботі представлено дорожню карту розвитку зарядних технологій, яка показує, що статичні та провідникові рішення збережуть домінування, тоді як індуктивне заряджання може стати перспективним напрямом за умови подолання технологічних та економічних бар'єрів. Ключовим викликом визначено відсутність єдиних стандартів і складність забезпечення повної інтероперабельності між зарядними станціями та транспортними засобами. У звіті Європейської Служби аудиту вказується, що хоча існують спільні Plug стандарти, багато систем оплати і сумісності залишаються різними між країнами [8].

Станом на 2025 рік в Україні спостерігається стрімке зростання кількості електромобілів, однак розвиток зарядної інфраструктури відстає від європейських стандартів. Більшість зарядних пристроїв зосереджено у великих містах, що створює проблеми для міжміських поїздок.

Для розширення мережі пропонується:

- створення національної програми розвитку зарядних станцій;
- стимулювання інвестицій через податкові пільги;
- обов'язкове облаштування зарядних точок при новому будівництві паркінгів;
- інтеграція інтелектуальних систем керування навантаженням;
- розвиток співпраці з операторами відновлюваних джерел енергії.

Подальший розвиток зарядної інфраструктури в Україні потребує комплексних рішень, що поєднують технічні, економічні та управлінські аспекти. Одним із ключових напрямів є впровадження державних програм підтримки, орієнтованих на стимулювання попиту на електротранспорт і створення сприятливого інвестиційного клімату. Важливим завданням також виступає активне залучення приватного капіталу, зокрема через механізми державно-приватного партнерства, що дозволить прискорити розбудову мережі зарядних станцій.

Особливу увагу слід приділити розвитку швидкісних зарядних комплексів на основних міжнародних та національних транспортних коридорах, адже саме вони забезпечують інтеграцію України в європейський транспортний простір. Не менш перспективним напрямом є поєднання зарядної інфраструктури з відновлюваними джерелами енергії, що сприятиме зниженню вуглецевого сліду та відповідатиме стратегічним цілям декарбонізації.

Розвиток зарядної інфраструктури сприятиме не лише зниженню викидів CO_2, а й формуванню нових ринків у сфері енергетики та транспорту, забезпечуючи інтеграцію України у європейський простір сталої мобільності. Таким чином, реалізація зазначених заходів створить підґрунтя для формування сучасної, надійної та екологічно орієнтованої інфраструктури електротранспорту, адаптованої до європейських стандартів та викликів енергетичного переходу.

Список використаних джерел

1. Burra, L. T., Al-Khasawneh, M. B., Cirillo, C. Impact of charging infrastructure on electric vehicle adoption: A synthetic population approach. *Travel Behaviour and Society*. 2024. Vol. 37. 100834. ISSN 2214-367X. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100834.
2. The electric car boom in Ukraine: 120 thousand cars served by 17 thousand charging stations. *ITC.ua*. 2024. Режим доступу: https://itc.ua/en/news/the-electric-car-boom-in-ukraine-120-thousand-cars-served-by-17-thousand-charging-stations/?utm_source
3. Martyniuk, R. Electric transport as one of the ways to achieve climate neutrality in Europe: Problems of development and legal regulation in Ukraine. *Law. Human. Environment*. 2024. Vol. 15, no. 2. P. 43–61. DOI: 10.31548/law/2.2024.43.

4. Arslangulova, B., Galanakis, K. The accessibility of public electric vehicle (EV) charging infrastructure: Evidence from the cities of Nottingham and Frankfurt. *IET Intelligent Transport Systems*. 2024. Vol. 18, Issue S1. P. 3058–3068. DOI: https://doi.org/10.1049/itr2.12564.

5. Mukherjee, B., Sossan, F. Optimized planning of chargers for electric vehicles in distribution grids including PV self-consumption and cooperative vehicle owners. *Energy Conversion and Economics*. 2023. Vol. 4, Issue 1. P. 36–46. DOI: https://doi.org/10.1049/enc2.12080.

6. Liu, B., Wang, Y., Wang, S. Matching analysis of new energy vehicle charging demand and charging infrastructure power supply capacity: A case study of China's capital Beijing. *Energy & Environment*. 2024. 0(0). DOI: https://doi.org/10.1177/0958305X241251430.

7. Far, M. F., Pihlatie, M., Paakkinen, M., Antila, M., Abdulah, A. Pre-Normative Charging Technology Roadmap for Heavy-Duty Electric Vehicles in Europe. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 7. 2312. DOI: https://doi.org/10.3390/en15072312.

8. Infrastructure for charging electric vehicles: more charging stations but uneven deployment makes travel across the EU complicated. *Special Report 05/2021*. European Court of Auditors. Режим доступу:
https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR21_05/SR_Electrical_charging_infrastructure_EN.pdf

Віштак Інна Вікторівна – к.т.н., доцент, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Нікітін Назарій Геннадійович – студент гр. 2АТ-23б, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: nikitinnazariji@gmail.com

Vishtak Inna V. – PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Nikitin Nazarii H. – student group 2AT-23b, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nikitinnazariji@gmail.com

УДК 629.33:621.791(4-672ЄС)

І.В. Віштак, В.С. Огірчук

ВПРОВАДЖЕННЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ СТАНДАРТІВ ДО БЕЗПЕЧНОГО РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ЗВАРЮВАННЯ

Розглянуто особливості впровадження європейських стандартів у сфері безпечного ремонту деталей автомобілів із застосуванням технологій зварювання. Наведено вимоги до організації процесу, вибору обладнання, дотримання правил безпеки. Підкреслено важливість адаптації європейського досвіду для покращення якості ремонту та підвищення рівня безпеки в автосервісах.

Ключові слова: *європейські стандарти, ремонт автомобілів, зварювання, безпека, охорона праці.*

This article examines the implementation of European standards for the safe repair of automotive parts using welding technologies. Requirements for process organization, equipment selection, and compliance with occupational health and safety regulations are outlined. The importance of adapting European practices to improve repair quality and enhance safety in auto repair shops is emphasized.

Keywords: *European standards, automotive repair, welding, safety, occupational health and safety.*

Сучасні тенденції розвитку автомобільної галузі вимагають від сервісних підприємств дотримання високих стандартів якості та безпеки. Особливе місце у процесі ремонту займає зварювання, оскільки воно використовується для відновлення конструктивних елементів кузова та деталей. У країнах Європейського Союзу сформовано систему нормативів (ISO, EN, UNECE), що регламентують проведення зварювальних робіт. Їх впровадження в Україні є необхідною умовою підвищення якості ремонту, захисту життя і здоров'я працівників, а також збереження навколишнього середовища. Відповідно, актуальність теми обумовлена необхідністю гармонізації національних вимог із європейськими стандартами та забезпечення безпечного середовища під час зварювання.

Впровадження європейських стандартів у сфері ремонту автомобільних деталей, зокрема із застосуванням зварювальних технологій, має багатогранний характер. Перш за все, це стосується технічних вимог до обладнання та матеріалів. Європейські стандарти передбачають використання лише сертифікованих апаратів MIG/MAG (рис. 1), TIG та точкового зварювання, які оснащені сучасними системами контролю якості шва та автоматичного регулювання параметрів. Важливим є також застосування витратних матеріалів (електродів, дроту, захисних газів), які відповідають нормам EN ISO 14341 та EN ISO 14175.



Рис. 1. Зварювальний апарат MIG/MAG для ремонту кузова автомобіля [1]

Другою важливою складовою є вимоги до організації робочого місця (рис. 2). Європейські стандарти передбачають наявність локальних вентиляційних систем, які видаляють шкідливі гази та пил, що утворюються під час зварювання. Це суттєво знижує ризик професійних захворювань, таких як металеві лихоманки чи ураження дихальних шляхів. Дослідження показують, що використання LEV може зменшувати вплив зварювальних газів і металевих аерозолів на 70–90 % порівняно з відсутністю витяжки [2]. В Європейському та британському

нормативному контексті вважається обов'язковим застосування LEV у середовищах, де відбувається дугове зварювання, особливо у обмежених приміщеннях чи при використанні сталі з хімічним покриттям [3].



Рис. 2. Організація робочого місця зварника відповідно до європейських стандартів (витяжна вентиляція та захисні екрани) [4]

Важливою складовою комплексної системи захисту працівників під час зварювальних робіт є застосування сертифікованих засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). До обов'язкового обладнання відносяться зварювальні маски з автоматичним затемненням (auto-darkening helmets) для захисту очей і обличчя від інтенсивного випромінювання та іскор (рис. 3), термостійкий спецодяг та рукавиці для запобігання термічним опікам і механічним ушкодженням, а також респіратори або фільтрувальні напівмаски для захисту дихальних шляхів від аерозолів і парів металів. Вимоги до таких ЗІЗ регламентуються європейськими стандартами: захист для очей і обличчя при зварюванні – EN 175 [5], а спеціальний одяг для зварювальників – EN ISO 11611 (клас захисту залежить від типу процесу та теплового навантаження) [6]. Крім того, для забезпечення реальної ефективності ЗІЗ необхідні правильний підбір засобів відповідно до ризиків, регулярна перевірка і технічне обслуговування (наприклад – функціональність автоматичного затемнення масок, герметичність фільтрів респіраторів), навчання персоналу та контроль відповідності засобів сертифікатам і маркуванню (CE). Наукові дослідження і практичні керівництва підтверджують, що комбіноване застосування сертифікованих ЗІЗ у поєднанні з інженерними заходами (локальна витяжна вентиляція) значно знижує ризики гострих і хронічних уражень очей, шкіри та дихальних шляхів у зварювальників [2, 3, 7]. Також слід враховувати класифікацію респіраторів та реальність їх захисних характеристик при роботі з металевими аерозолями (EN 149 / EN 143 – для фільтрувальних напівмасок і фільтрів) та підбирати фільтри згідно з хімічним складом аерозолів [8].



Рис. 3. Використання засобів індивідуального захисту під час зварювання [1]

Окрему увагу приділено кваліфікації персоналу. В Європейському Союзі діє система обов'язкової сертифікації зварювальників відповідно до стандарту **EN ISO 9606**, яка регламентує порядок кваліфікаційних випробувань. Вона передбачає перевірку як теоретичних знань, так і практичних навичок у різних видах зварювання (MIG/MAG, TIG, ручне дугове та точкове).

Кваліфікаційне випробування включає виконання зварювальних з'єднань згідно з технічними вимогами, подальший контроль якості шва методами неруйнівного та, за необхідності, руйнівного контролю. Сертифікація зварювальників за EN ISO 9606 забезпечує уніфікацію вимог у країнах ЄС, сприяє мобільності робочої сили та гарантує високий рівень безпеки й якості зварювальних робіт [9]. Водночас актуальною проблемою залишається постійна перепідготовка кадрів у зв'язку з появою нових матеріалів, технологій і методів автоматизованого та роботизованого зварювання. Впровадження подібної практики в Україні підвищить якість ремонту та довіру клієнтів.

Застосування європейських стандартів також включає використання сучасних діагностичних систем. Перед початком зварювання кожна деталь повинна проходити ретельну діагностику з метою виявлення характеру та ступеня пошкоджень (мікротріщини, корозійні дефекти, зношення металу, деформації). Цей етап дозволяє обрати найбільш прийнятну технологію ремонту – визначити режим зварювання, тип шва, потрібні матеріали та підготувати поверхню до з'єднання.

Після завершення зварювальних робіт здійснюється контроль якості зварного з'єднання за допомогою візуально-вимірювальних методів (огляд, вимір швів, дефектоскопія поверхні) та засобів неруйнівного контролю (методи ультразвуку, рентгенографії, магнітних частинок, капілярного контролю). Такі підходи дозволяють своєчасно виявити внутрішні дефекти, порожнини, непроплави чи концентрації напруг у шві [10].

В сучасних системах діагностики все більшу роль відіграють інтелектуальні технології – машинне навчання, комп'ютерне зір та алгоритми класифікації дефектів допомагають автоматично інтерпретувати результати ультразвукових та радіографічних даних [11]. Також застосовуються цифрові методи обробки зображень та комбіновані підходи (ультразвук + радіографія) для підвищення надійності дефектоскопії у складних матеріалах або конструкціях [12].

Таким чином, поєднання передзварювальної діагностики, серійного контролю після зварювання та впровадження інтелектуальних систем інспекції забезпечує високі стандарти якості, надійності та безпеки у застосуванні зварювальних технологій.

У практичній частині дослідження були проаналізовані приклади впровадження європейських стандартів на СТО, які займаються відновленням кузовів сучасних автомобілів. Використання сертифікованих зварювальних апаратів дозволило скоротити час ремонту на 25–30% та знизити кількість браку. Організація вентиляційних систем зменшила вміст шкідливих речовин у повітрі на робочих місцях на 40%. Крім того, навчання персоналу за програмами, адаптованими до європейських стандартів, підвищило рівень безпеки та зменшило кількість нещасних випадків.

Впровадження європейських стандартів у сферу ремонту автомобільних деталей із застосуванням зварювання забезпечує підвищення якості та безпеки виконуваних робіт. Дотримання вимог до технології зварювання, використання сертифікованого обладнання та засобів індивідуального захисту сприяє зменшенню виробничих ризиків і продовженню ресурсу автомобільних конструкцій. Важливим чинником є також екологічна відповідальність – правильна утилізація відходів і застосування сучасних матеріалів, що відповідають міжнародним нормам. Таким чином, інтеграція європейських підходів дозволяє українським підприємствам підвищити конкурентоспроможність і забезпечити безпечні умови праці в автосервісній галузі.

Список використаних джерел

1. Зварювальні апарати: види, особливості та призначення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kwitka.ua/blog/svarochnoe-oborudovanie/svarochnye-apparaty-vidy-osobennosti-i-naznachenie/

2. Knott P., Csorba G., Bennett D., Kift R. Welding Fume: A Comparison Study of Industry Used Control Methods. Safety. 2023. Vol. 9, № 3. P. 42. DOI: 10.3390/safety9030042

3. Local Exhaust Ventilation (LEV) Guidance. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.hsa.ie/eng/publications_and_forms/publications/occupational_health/local_exhaust_ventilation_lev_guidance.pdf

4. Робоче місце зварювальника – чим повинно бути оснащено. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zvarka.info/roboche-misce-zvaryuvalnika-chim-povinno-buti-osnashheno/amp/

5. European Committee for Standardization. EN 175:1997. Personal protection — Equipment for eye and face protection during welding and allied processes. Brussels : CEN, 1997. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0::::FSP_PROJECT:24817&cs=1B1A2C9D7C0A6E2A5E3B

6. International Organization for Standardization. EN ISO 11611:2015. Protective clothing for use in welding and allied processes — Requirements. Geneva : ISO, 2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.iso.org/standard/63793.html

7. Lehnert M., Goebel A., Zschiesche W., Kendzia B., Pelzer J., Taeger D., Brüning T., Behrens T. How to Reduce the Exposure of Welders to an Acceptable Level: Results of the InterWeld Study. Annals of Work Exposures and Health. 2022. Vol. 66, Issue 2. P. 192–202. DOI: 10.1093/annweh/wxab082

8. International Agency for Research on Cancer (IARC). Welding, Molybdenum Trioxide and Indium Tin Oxide. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 118. Lyon : IARC, 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://publications.iarc.fr/546

9. International Organization for Standardization. EN ISO 9606-1:2017. Qualification testing of welders — Fusion welding — Part 1: Steels. Geneva : ISO, 2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/cc8abc2b-0139-466d-95b3-cb04f1019481/en-iso-9606-1-2017

10. Naddaf M., Naddaf-Sh S., Zargarzadeh H., Zahiri S., Dalton M., Elpers G., Kashani R. Defect detection and classification in welding using deep learning and digital radiography. In: Advanced Welding and Additive Manufacturing. Elsevier, 2021. P. 135–158. DOI: 10.1016/B978-0-12-822473-1.00007-0

11. Ravichandiran P. K., Ramachandran D., Jegadeeshwaran R. Welding Defect Identification with Machine Vision System using Machine Learning. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1716. 012023. DOI: 10.1088/1742-6596/1716/1/012023

12. Mamoudan A. F., Ibarra-Castanedo C., Maldague X. Non-Destructive Testing and Evaluation of Hybrid and Advanced Structures: A Comprehensive Review of Methods, Applications, and Emerging Trends. Sensors. 2025. Vol. 25. P. 3635. DOI: 10.3390/s25123635

Віштак Інна Вікторівна **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Огірчук Вадим Сергійович **–** студент 3-го курсу групи 1ЗВ-23б, кафедра галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ohirchukvadim@gmail.com

Vishtak Inna V. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety and Pedagogy Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Ogirchuk Vadym S. **–**student of 3-d year of group 1ZV-23b, Department of Industrial Engeneering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ohirchukvadim@gmail.com

УДК 629.6.9

Т.Й. Войціховська

ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РУХОМ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Дослідженням цієї проблеми займається ряд науковців і розробників у компаніях ModalKon, TOCAN SOLUTIONS, JSOLUTIONS, а також науковці вищих навчальних закладів Храмов К.К.[2], О.М. Наумчук, Є.Ю.Форнальчик [4], які формують доктрину якісного і раціонального управлінням автомобільним транспортом в транспортних компаніях.

Ключові слова: *автомобільний транспорт, автоматизованих систем управління транспортом, систем GPS-моніторингу, навігаційне обладнання, системи управління транспортом.*

A number of researchers and developers at companies such as ModalKon, TOCAN SOLUTIONS, JSOLUTIONS, as well as scholars from higher education institutions – K.K. Khramov [2], O.M. Naumchuk, Ye.Yu. Fornalchyk [4] – are investigating this issue and shaping the doctrine of high-quality and rational management of motor transport in transportation companies.

Key words: *road transport, automated transport management systems, GPS monitoring systems, navigation equipment, transport management systems.*

Вступ. АТ «Укргазвидобування» (УГВ) є найбільшою газовидобувною компанією у Центральній і Східній Європі. В Україні це – великий гравець, що видобуває 70% природного газу та спеціалізується на виробництві природного газу та газового конденсату.

АТ «Укргазвидобування» – 100% дочірнє підприємство НАК «Нафтогаз України». У 2021 році Товариство видобуло 12,93 млрд куб. м газу (73% від загального обсягу видобутку в Україні). Ці обсяги включають також видобуток в рамках договорів про спільну діяльність і газ, видобутий і використаний підприємством для власних виробничо-технологічних потреб.

Компанії вдалося досягти стабілізації обсягів видобутку газу за рахунок заходів, реалізованих відповідно до «Стратегії 20/20», що передбачає видобуток 20 млрд куб. м природного газу до 2020 року. Для досягнення цієї мети УГВ запровадило найбільшу в Центральній і Східній Європі інвестиційну програму із залучення 4 млрд доларів США до 2020 року.

АТ «Укргазвидобування» веде розробку газових, нафтогазових і нафтогазоконденсатних родовищ в Харківській, Полтавській, Сумській, Донецькій, Луганській, Дніпропетровській, Львівській, Івано-Франківській, Закарпатській, Чернівецькій та Волинській областях. Геологорозвідувальні роботи компанії з пошуку нових родовищ вуглеводнів ведуться в Дніпровсько-Донецькій западині, у Карпатському регіоні.

Актуальність досліджень. Система управління транспортом (TMS) – це спеціалізоване програмне забезпечення, яке допомагає у плануванні, виконанні та оптимізації транспортування вантажів. У найширшому розумінні TMS використовується для підвищення ефективності доставки, зниження витрат, забезпечення видимості ланцюжка поставок у реальному часі та забезпечення задоволеності клієнтів. Основними користувачами програмного забезпечення TMS є виробники, оптові торговельники та постачальники послуг логістики. Використовуючи досягнення технологій, ті підприємства, які використовують цифрову TMS, ефективніше долають виклики транспортним системам минулого, такі як помилки та затримки для клієнтів.

Про позитивний досвід свідчить те, що багато автотранспортних підприємств в своїй діяльності впроваджують дані системи, що дозволяють якісно моніторити ситуацію в режимі реального часу. АТ «Укргазвидобування» не стали винятком і впроваджують дану систему у своїх транспортних підрозділах.

Мета досліджень. Аналіз поточного стану розвитку автоматизованих систем управління транспортом

Матеріали досліджень. Transport Management System (TMS) – це спеціалізоване програмне забезпечення та пов'язані з ним програмно-апаратні рішення для автоматизації процесів у транспортній логістиці. TMS дозволяє планувати маршрути перевезення та доставки вантажів між містами, країнами та адресами. При цьому програма враховує безліч параметрів та

факторів, які впливають на час та умови доставки. Наприклад, види та типи транспортних засобів, тимчасові вікна, температурні режими, види, типи та характеристики вантажів, що перевозяться, обмеження в місцях завантаження або розвантаження. TMS-система, підключена до GPS моніторингу, дозволяє відстежувати місцезнаходження машин і вантажів, контролювати витрати палива, швидкість руху та відкриття борту. Всі ці особливості системи керування транспортом роблять TMS-систему відмінним рішенням для будь-яких підприємств, що пов'язані з транспортною логістикою або володіють власними автопарками.

На ринку України існує невелика кількість програмних рішень автоматизованих систем управління транспортом. Розглянемо деякі з них.

Модалком

Модуль «ModalKon – Управління автотранспортом» призначений для автоматизації бізнес-процесів управління і оперативного обліку на спеціалізованих автотранспортних підприємствах і автогосподарствах, а також на підприємствах, що мають в своєму складі транспортні підрозділи [3].

Призначення програмного рішення:

Автоматизація планування перевезень, а також для управління процесом їх виконання;

Оформлення заявок в електронному вигляді, автоматичного формування дорожніх листів і їх друку, диспетчеризації перевезень, генерація оповіщень по подіям;

Розрахунки нормування пробігів транспорту, споживання ПММ, пробігу шин;

Забезпечення адміністративного, оперативного та ремонтного персоналу оперативною інформацією, необхідною для прийняття рішень при проведенні робіт по ТО і ремонту транспорту;

Підвищення повноти, точності, оперативності та наочності інформації про поточний стан рухомого складу;

Зберігання та надання даних з метою оцінки і прогнозу технічного стану обладнання;

Точна оцінка потреби в запасних частинах і замовлення своєчасної їх поставки, з метою виключення простоїв в роботі транспорту.

Функціональні можливості:

«ModalKon – Управління автотранспортом» дозволяє автоматизувати розрахунок та списання ПММ, облік подорожніх листів, запчастин, акумуляторів, шин, ремонтів, складання графіків ТО, облік напрацьованого ресурсу обладнання і агрегатів, автоматичну калькуляцію витрат, пов'язаних з транспортними роботами.

Пакетна виписка подорожніх листів з перевіркою, чи є кожен автомобіль придатним до експлуатації;

Приймання і обробка подорожніх листів;

Розрахунок нормативних витрат ПММ на підставі даних подорожніх листів при використанні ТЗ;

Розрахунок вартості робіт на підставі даних по роботі автомобіля з подорожніх листів;

Відпрацювання в оперативному обліку – формування актів виконаних робіт і передача їх в оперативний облік;

Розподіл витрат по роботі автопарку на інші підрозділи, які користувалися його послугами;

Формування табеля обліку фактично відпрацьованого часу екіпажом з подальшою передачею в модуль «розрахунок заробітної плати»;

Друк подорожніх листів (всі типові форми, передбачені законодавством чи розроблені на підприємстві).

Подорожні листи:

Автотранспортні засоби:

Гаражний і державний номер;

Номер двигуна, шасі, кузова, VIN, колір;

Габаритні і корисні розміри;

Кількість осей і коліс;

Власна вага і вантажопідйомність;

Тип двигуна і потужність;

Встановлені шини, акумулятори, аптечки, рації і будь-яке інше обладнання;

Закріплений екіпаж.

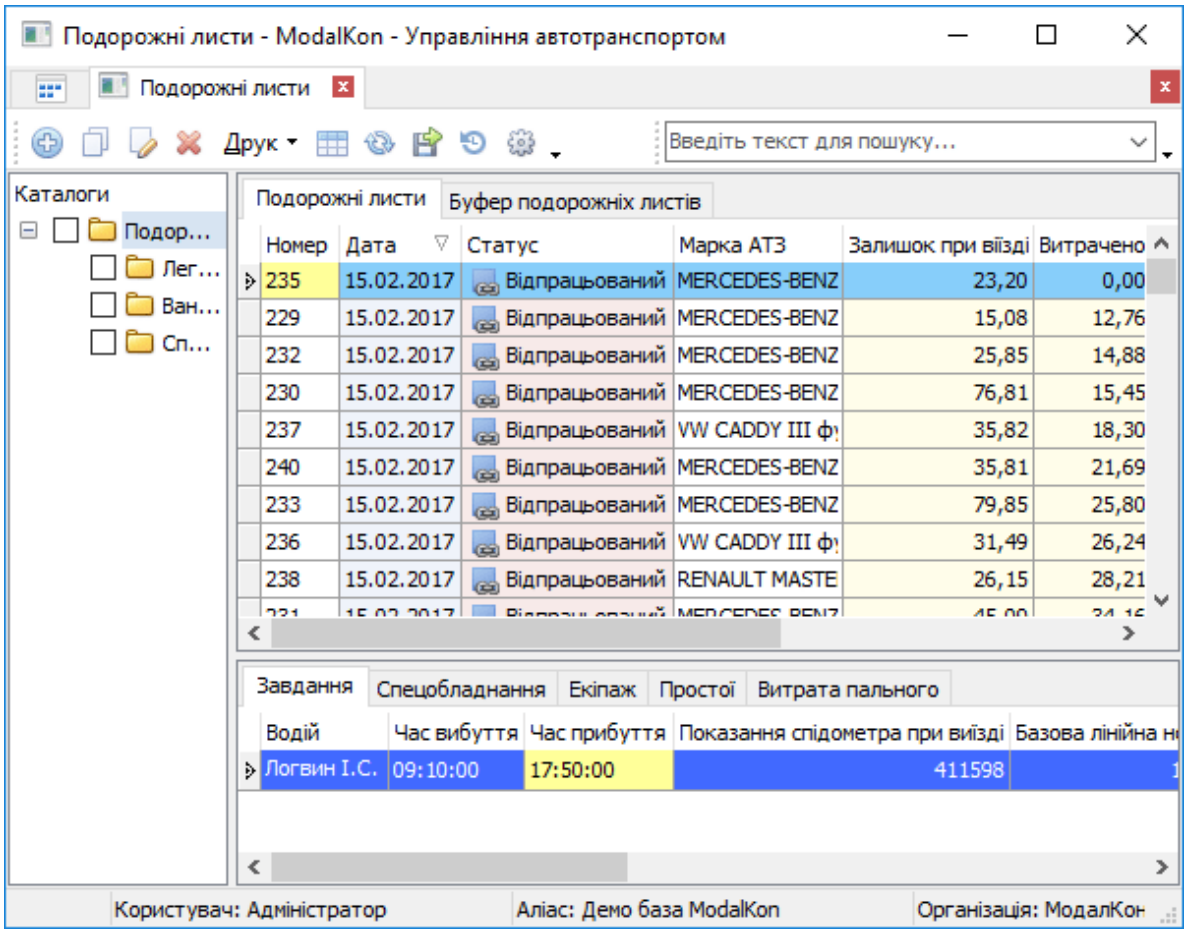


Рисунок 1. Заповнення шляхового листа

Результати досліджень. Централізований ланцюг поставок — це такий, у якому всі ресурси компанії зосереджені в одному місці. Це дозволяє організовувати ресурси автотранспортного підприємства з одного місця та ефективно розподіляти їх [1].

Клієнти транспортних компаній понад усе хочуть бачити надійність, тому відстеження є таким важливим. Надаючи чітко задокументований трекінг для їхньої продукції через лінію доставки, софт пропонує клієнтам вищий рівень прозорості. Автоматизовані рішення допомагають транспортним підприємствам відстежувати свої процеси, централізуючи все в одній інтуїтивно зрозумілій системі.

Усуває необхідність фізичної паперової роботи. Програмне забезпечення усуває фізичну необхідність до друку, записів, зберігання та підписів паперів.

Чітко виконує замовлення. TMS допомагає підприємствам правильно спланувати маршрути руху та час доставки, протягом декілька секунд змінювати статус замовлення, дозволяючи компаніям вчасно зв'язатися з клієнтами. З метою залучення більшої кількості клієнтів, виведення TMS на новий рівень виробники додають все більше функціональних процесів до свого програмного забезпечення. Основний задум систем управління транспортом був викладений вище, тому новий спосіб підняття рівню роботи транспортних компаній нині доступний всім завдяки використанню даних систем з метою оптимізації роботи персоналу корпорації, заощадження часу і коштів, пов'язаних зі згаданою роботою [2].

Висновки. В процесі використання систем управління транспортом реалізована багаторівнева архітектура побудови доступу користувачів до розділів системи (читання, редагування, видалення, повний доступ), що забезпечує надання доступу до функціоналів в межах визначеного функціоналу та компетентності, використовуються загальнодержавні форми подорожніх листів. Згідно розроблених УкрНДІгазом нових уніфікованих форм подорожніх листів в системі необхідна значна переробка існуючих форм подорожніх листів згідно вимог

диспетчерів філій Товариства. В нових уніфікованих формах подорожніх листів Товариства передбачене зазначення кодування місць виникнення витрат (МВВ) та структурного плану проекту (СПП-елемент), що при формуванні місячної звітності про надання послуг з автотранспортного перевезення полегшує обробку подорожніх листів в системі, створення міжфілійних актів наданих послуг.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт АТ «Укргазвидобування». Режим доступу: https://www.ugv.com.ua.
2. Храмов К.К., здобувач вищої освіти, Шевченко І.О., к.т.н., доцент (Державний біотехнологічний університет) ЩО ТАКЕ СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТОМ (TMS), Режимдоступу:https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/17431/1/Avtomobilnyi%20transport%20v%20ahrarnomu%20sektori_2022-21-22.pdf.
3. Сайт Компанії ModalKon. Режим доступу: https://modalkon.com.ua/products/vehicles-management.
4. О.М. Наумчук, Є.Ю.Форнальчик. Технічні засоби управління на транспорті. Навчальний посібник. Рівне-Львів 2014. Режим доступу: https://ep3.nuwm.edu.ua/3190/1/125zah.pdf.

Войціховська Тетяна Йосипівна **–** асистент кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет, м. Івано-Франківськ, e-mail: tetiana.voisekhivska@nung.edu.ua

Voisekhivska Tetiana **–** Assistant, Department of Road Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University, Ivano-Frankivsk, e-mail: tetiana.voisekhivska@nung.edu.ua

УДК 656.078

О.А. Воронков, І.Л. Роговський

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

У роботі розглянуто можливості впровадження безпілотних літальних апаратів у збирально-транспортний комплекс сільськогосподарських підприємств. Проаналізовано вплив безпілотних технологій на оптимізацію логістичних процесів під час збирання зернових культур. Визначено основні напрямки підвищення ефективності управління транспортними потоками за допомогою безпілотних літальних апаратів.

***Ключові слова**: безпілотні літальні апарати, збирально-транспортний комплекс, логістика, оптимізація, ефективність, інформатизація.*

The paper examines the possibilities of implementing agricultural drones in the harvest and transport complex of agricultural enterprises. The impact of unmanned technologies on the optimization of logistics processes during grain harvesting is analyzed. The main directions for improving the efficiency of transport flow management using unmanned aerial vehicles are identified.

***Keywords:** drones, harvest and transport complex, logistics, optimization, efficiency, informatization.*

Питання підвищення ефективності збирально-транспортного комплексу є ключовим у сучасному рослинництві. У попередніх публікаціях автори досліджували енергетичну оцінку транспортно-технологічних процесів, узгодження суміжних транспортних і технологічних операцій, а також оцінку ефективності транспортно-технологічних операцій у галузі рослинництва. Ці роботи заклали основу для подальшого впровадження сучасних технологій, зокрема безпілотних літальних апаратів, надалі (БПЛА) в управлінні транспортними потоками [1–3].

Метою дослідження є підвищення ефективності роботи збирально-транспортного комплексу за рахунок інтеграції БПЛА. Завдання включають аналіз попередніх моделей управління транспортними потоками, оцінку ефективності роботи збирально-транспортного комплексу, а також інженерний менеджмент моніторингу потоків зернового збіжжя.

В Україні збирально-транспортний комплекс зернових культур характеризується значними розривами між збиранням врожаю та його транспортування до тимчасових пунктів зберігання та елеваторів. Основні проблеми полягають у високих витратах часу на координацію комбайнів і транспортних засобів, нерівномірному навантаженні транспорту та втраті продукції через простої або неефективне планування маршрутів.

Сучасні технології, зокрема використання БПЛА, дозволяють проводити оперативний моніторинг стану посівів, оцінку обсягів врожаю та контроль транспортних потоків у режимі реального часу. Застосування безпілотних літальних апаратів може забезпечити:

- Візуальний та сенсорний контроль полів, що дозволяє точно визначати обсяги зібраного зерна та оптимізувати кількість задіяних автотранспортних засобів.
- Координацію комбайнів і транспортних засобів на основі даних дронів, що скорочує простої техніки та підвищує продуктивність комплексу.
- Зменшення енергетичних та фінансових витрат за рахунок ефективної маршрутизації та планування логістики перевезень.
- Забезпечення безпеки та контролю роботи транспортних засобів на великих полях і при віддалених складах, що особливо важливо для агрохолдингів із великою площею оброблюваних земель.

Передумови для впровадження БПЛА у збирально-транспортному комплексі в Україні базуються на:

- високих вимогах до ефективності перевезень зернових;
- необхідності моніторингу та оперативного управління великими обсягами врожаю;
- наявності сучасних безпілотних технологій;
- науково-методичних підходах авторів, описаних у [1–3].

БПЛА дозволяють контролювати та координувати роботу комбайнів і зерновозів навіть за наявності проміжних бункерів-накопичувачів. Їх переваги проявляються у:

- Реальному моніторингу заповнення бункера за допомогою високоточної оптики або мультиспектральних сенсорів, що дозволяє коригувати під'їзди зерновозів і запобігати переповненню бункера або простою комбайнів.
- Прогнозуванні черг та завантаження зерновозів із використанням алгоритмів оптимізації, що зменшує час очікування та підвищує ефективність транспортно-технологічного процесу.
- Інтеграції з сучасними системами бункерів-перевантажувачів, оснащених датчиками рівня та автоматичним завантаженням у автотранспортні засоби.

Прогнозування черг та завантаження зерновозів здійснюється за допомогою алгоритмів оптимізації, які формують черги з урахуванням фактичного стану бункера та відстані до поля. Це зменшує час очікування та підвищує ефективність транспортно-технологічного процесу:

$$\eta_{\text{тех}} = \frac{T_з}{T_з+T_{оч}+T_{роз}+T_{нв}+T_б+T_н} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $\eta_{\text{тех}}$ – коефіцієнт ефективності використання зерновоза, $T_з$ - час руху з вантажем, $T_{оч}$ - час очікування зерновозів, $T_{роз}$ - час розвантаження, $T_{нв}$- час навантаження, $T_б$ - час руху без вантажу, $T_н$- час нульового пробігу.

Використання БПЛА і систем моніторингу дозволяє координувати рух зерновозів, скорочуючи:

- час очікування на полі ($T_{оч}$),
- нульові пробіги ($T_н$),
- простої під навантаженням ($T_{нв}$).

У результаті підвищується $\eta_{тех}$, тобто АТЗ використовується ефективніше без збільшення кількості АТЗ.

Застосування БПЛА разом із бункерами-накопичувачами та сучасними системами перевантаження дозволяє досягти безперервного руху комбайнів, мінімізації простоїв зерновозів, рівномірного навантаження транспортних засобів, зниження експлуатаційних та енергетичних витрат, а також отримання реальних даних для планування та коригування роботи комплексу в режимі реального часу.

Список використаних джерел

1. Воронков О. А., Роговський І. Л. Модель технологічної системи перевезення збіжжя збирально-транспортного комплексу агрохолдингу. Розвиток транспорту. Одеса. 2022. No 2(13). С. 42–52.

2. Воронков О. А., Роговський І. Л. Аналітичні положення ефективності роботи збирально-транспортного комплексу зернового збіжжя. Вісник Національного транспортного університету. Серія: технічні науки. 2022. Вип. 1 (51). С. 74–83.

3. Воронков О. А., Роговський І. Л. Модель узгодження транспортних потоків перевезення збіжжя автотранспортними засобами з поля до тимчасового пункту зберігання. Розвиток транспорту. Одеса. 2025. No 2(25). С. 108–121.

Воронков Олексій Андрійович – старший викладач кафедри транспортних технологій та засобів у АПК. Національний університет біоресурсів і природокористування України. e-mail: o.voronkov@nubip.edu.ua

Роговський Іван Леонідович – д.т.н., проф., кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка. Національний університет біоресурсів і природокористування України. e-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

Voronkov Oleksii A. – Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies and Means in the Agro-Industrial Complex, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. E-mail: o.voronkov@nubip.edu.ua

Rohovskyi Ivan L. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technical Service and Engineering Management named after M.P. Momotenko, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. E-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

УДК 662.758.2

Д.О. Галущак, О.О. Галущак

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ НА СУМІШІ ДИЗЕЛЬНОГО ТА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВ

Дана робота присвячена визначенню параметрів для оцінки ефективності переведення двигуна автомобіля на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив.

Обгрунтовано критерії для оцінки техніко-економічних та екологічних показників автомобілів.

Ключові слова: *дизельне паливо, біодизельне паливо, суміш, параметри оцінки, показники автомобіля.*

This work is devoted to determining the parameters for evaluating the efficiency of converting a vehicle engine to operate on a mixture of diesel and biodiesel fuels.

The criteria for assessing the technical, economic, and environmental performance indicators of vehicles are substantiated.

Keywords: *diesel fuel, biodiesel fuel, mixture, evaluation parameters, vehicle performance indicators.*

На сьогоднішній день значна кількість наукових робіт присвячена вивченню особливостей використання біодизельного палива у вигляді суміші з традиційним дизельним паливом у певних сталих концентраціях. Такі дослідження дозволили визначити закономірності впливу співвідношення палив на показники паливної економічності, потужності двигуна та рівень викидів шкідливих речовин. Однак слід враховувати, що реальні умови експлуатації автомобіля характеризуються широким діапазоном зміни навантажувальних і частотних режимів роботи двигуна. За таких умов використання суміші зі сталим відсотковим співвідношенням компонентів не завжди забезпечує оптимальні результати.

У зв'язку з цим постає завдання розробки й дослідження технологій, які дозволяли б динамічно змінювати склад паливної суміші безпосередньо під час руху автомобіля. Це дасть можливість адаптувати роботу двигуна до конкретних умов експлуатації, знизити витрати палива, зменшити рівень токсичних викидів та підвищити загальну ефективність використання автомобільного транспорту.

Для оцінки ефективності переведення двигуна автомобіля на роботу на суміші палив з різними пропорціями пропонується використовувати групи параметрів за двома напрямками:

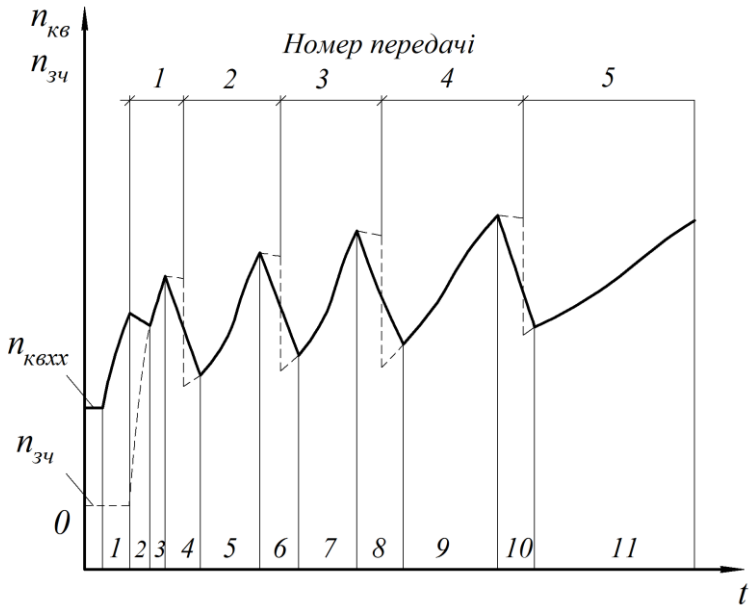
- техніко-економічні та екологічні показники автомобіля;
- затрати (включають витрати на модернізацію/переобладнання автомобіля, проведення технічного обслуговування і поточного ремонту системи живлення двигуна при використанні різних пропорцій дизельного та біодизельного палива, а також матеріальні витрати, що супроводжують експлуатацію).

Оскільки енергоємність суміші дизельного та біодизельного палив є нижчою порівняно з енергоємністю традиційного дизельного палива, під час роботи двигуна на такій суміші відбувається зменшення його ефективної потужності, що зумовлює відповідне зниження максимальної швидкості руху автомобіля V_{max}. Найбільш складним із видів розгону автомобіля є розгін з місця з перемиканням передач від нижчої до вищої (рис. 1), при якому можна визначити вплив зміни фізико-хімічних та енергетичних показників суміші дизельного та біодизельного палив на динамічний фактор автомобіля D_a та на час t його розгону до максимальної швидкості V_{max}.

Таким чином, за параметри оцінки зміни технічних показників автомобіля при роботі двигуна на суміші дизельного та біодизельного палив було обрано:

- динамічний фактор автомобіля D_a;
- час розгону автомобіля до швидкості V_a = 100 км/год;
- час розгону автомобіля до максимальної швидкості V_{max}.

Вищезазначені параметри дозволяють в повній мірі оцінити динамічність автомобіля та вплив використання суміші біодизельного та дизельного палив на його технічні показники.



$n_{кв}$ - частота обертання колінчастого валу двигуна, $n_{зч}$ -частота обертання веденої частини зчеплення

Рисунок 1 – Процес розгону автомобіля є розгін з місця з перемиканням передач від нижчої до вищої

Для дослідження економічних та екологічних показників автомобілів було обрано випробувальних цикл *WLTC / WLTP* (*Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Cycle / Procedure*), який представлено на рис. 2. *WLTC / WLTP* є глобальнимй стандартом (використовується в ЄС з 2017 р.) [1]. Даний випрбувальний цикл враховує різні режими руху (місто, траса, прискорення, гальмування) та найбільш підходить для українських умов серед міжнародних стандартів.

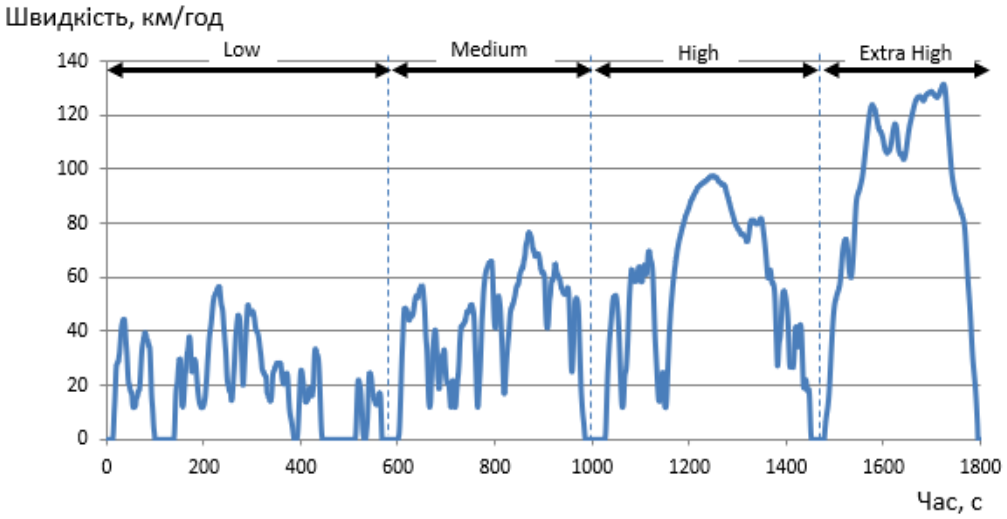


Рисунок 2 – Їздовий цикл Цикл *WLTP* (*Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure*)

Оцінити вплив використання системи живлення дизельного двигуна автомобіля зі зміною складу суміші дизельного та біодизельного палив можливо за витратою палива на одиницю пробігу $G_{пал}$ при русі автомобіля за випробувальним циклом *WLTC / WLTP*.

Таким чином, за параметри оцінки зміни економічних показників автомобіля при роботі двигуна на суміші дизельного та біодизельного палив було обрано витрату палива G_{WLTC} на одиницю пробігу під час руху автомобіля за випробувальним циклом *WLTC / WLTP*.

До основних токсичних речовин, що містяться у відпрацьованих газах дизельного двигуна можна віднести наступні: оксид вуглецю G_{CO}, вуглеводні (незгорілі частки палива) G_{CH}, оксиди азоту G_{NOx} та викиди сажі G_c. Останні складають найбільшу частку у відпрацьованих газах та є найбільш небезпечними для людини.

Тому, екологічні показники автомобіля при роботі на суміші дизельного та біодизельного палив було прийнято оцінювати за концентрацією сажі C_c у відпрацьованих газах. При сталих частотах обертів колінчастого валу двигуна концентрація сажі C_c у відпрацьованих газах буде незначною в порівнянні з викидами при розгоні автомобіля. Тому доцільно визначати концентрацію сажі C_c при розгоні автомобіля.

Таким чином, за параметри оцінки зміни екологічних показників автомобіля при роботі на суміші дизельного та біодизельного палив було обрано:

- максимальну концентрацію сажі C_c у відпрацьованих газах в режимі вільного прискорення колінчастого валу двигуна та в режимі прискорення під навантаженням.

Економічну доцільність переведення двигуна на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив зі зміною її складу та модернізації системи живлення двигуна можна оцінити за допомогою витрат на переобладнання автомобіля, витрат на проведення ТО та ПР системи живлення дизельного двигуна автомобіля зі зміною складу суміші та матеріальних затрат на експлуатаційні витрати.

Таким чином, за визначеними параметрами можна оцінити ефективність переведення роботи двигуна автомобіля на суміші дизельного та біодизельного палив.

Список використаних джерел

1. Ковбасенко С.В. Типові їздові випробувальні цикли для оцінки експлуатаційних показників автотранспортних засобів / С.В. Ковбасенко, Ю.В. Гонтар // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

2. Worldwide emissions standards on and off-highway commercial vehicles. Access mode: https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/on-and-off-highway-commercialvehicles-emissions-standards.pdf?sfvrsn=30265b3d_8.

3. Третяк В.М. Ефективність використання пального рослинного походження для живлення двигунів внутрішнього згоряння сільськогосподарських машин / В.М. Третяк, В.С. Больбут, О.М. Ганженко, А.М. Мазуренко // Наукові праці Інституту Біоенергетичних культур і цукрових буряків. - 2013. - Випуск 19. - С. 163-167.

Галущак Дмитро Олександрович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: galuschak.d@gmail.com

Галущак Олександр Олександрович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: galushchak.gs@gmail.com

Halushchak Dmytro O. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: galuschak.d@gmail.com

Halushchak Oleksandr O. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: galushchak.gs@gmail.com

УДК 656.132:006

О.О. Галущак, Д.О. Галущак, В.О. Бурченко

АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА МІСЬКИХ АВТОБУСІВ

У роботі проведено аналіз впливу експлуатаційних, технічних і природно-кліматичних факторів на витрату палива міських автобусів. Встановлено основні чинники та побудовано математичні моделі, що дають змогу підвищити точність нормування та ефективність використання палива.

Ключові слова: *автобус, муніципальний транспорт, витрата палива, норми витрат палива.*

The paper analyzes the impact of operational, technical, and natural and climatic factors on the fuel consumption of city buses. The main factors are identified and mathematical models are built that allow increasing the accuracy of rationing and the efficiency of fuel use.

Keywords: *bus, municipal transport, fuel consumption, fuel consumption standards.*

Нормування витрати палива зумовлена необхідністю розрахунків при плануванні потреб підприємств споживання паливно-мастильних матеріалах, під час бюджетування та аналізу ефективності роботи. Використання нормативних показників дає змогу контролювати раціональність споживання палива, оцінювати технічний стан рухомого складу, рівень паливної дисципліни водіїв, інтенсивність і правильність експлуатації транспортних засобів, а також вплив автотранспорту на довкілля.

Автомобільний транспорт є енергоємних, на нього припадає близько 30% загального споживання рідкого нафтового палива. Витрата моторного палива є однією з головних статей витрат автотранспортних підприємств. Частка витрат на паливо у собівартості транспортних послуг становить 15–25%, проте може бути і більше. Тому зменшення паливних витрат є одним із ключових завдань. Зниження споживання палива не лише зменшує експлуатаційні витрати, але й сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин, підвищуючи екологічну безпеку перевезень. Досягти цього можна шляхом раціонального використання палива.

Слід зазначити, що в процесі діяльності автотранспортних підприємств і компаній умови експлуатації міських автобусів постійно змінюються. Зокрема:

- оновлюються або створюються нові маршрути;
- маршрути відрізняються за довжиною, рельєфом, кількістю зупинок і дорожніми умовами, що безпосередньо впливає на витрату палива та потребує врахування під час нормування.

Крім того, структура рухомого складу постійно змінюється – відбувається переміщення автобусів між маршрутами або введення в експлуатацію нових моделей транспортних засобів, що також впливає на витрату палива.

На витрату палива впливає велика кількість факторів, які наведені на рис. 1.

В результаті кореляційного аналізу були виявлені сильно взаємокорелювані змінні: групи швидкісних, навантажувальних, вікових факторів та факторів графіка роботи. Для виключення наслідків мультиколінеарності під час проведення регресійного аналізу необхідно було застосувати стратегії, розроблені з урахуванням методу основних компонент.

- досліджувані фактори впливають на маршрутну витрату палива міських автобусів з різними ступенями впливу, та їх залежності в основному можуть бути описані лінійними рівняннями;
- фактори «середньодобова швидкість сполучення на маршруті» та «середня температура навколишнього повітря» нелінійно впливають на витрату палива;
- норма витрати палива міських автобусів на маршруті руху збільшується зі збільшенням значень питомої кількості технологічних зупинок, кількості крутих поворотів, пасажиропотоку, добового кількості опадів, пробігу з початку експлуатації та віку автобуса;
- норма витрати палива міських автобусів на маршруті руху зменшується із збільшенням значень добового пробігу автобусів.

Конструкційні фактори	**Природно-кліматичні фактори**	**Технологічні фактори**	**Експлуатаційні фактори**	**Організаційні фактори**
Ефективність конструкції	Температура навколишнього середовища	Управління якістю ТО і ПР	Стан дорожнього покриття	«Вік» парку міських автобусів
Якість проєктування вузлів і агрегатів	Кількість опадів	Забезпеченість ВТБ	Кут поздовжнього ухилу траси маршруту	Структура парку автобусів за моделями
Якість виготовлення деталей		Оптимізація потужності та структури ВТБ	Тип дорожнього покриття	Втрати палива при ТО і ТР міських автобусів
Якість застосовуваних матеріалів		Забезпечення підприємства персоналом	Інтенсивність експлуатації автобусів	Крадіжки палива
Якість збирання вузлів і агрегатів		Кваліфікація персоналу	Наповненість салону автобуса за перегоном	Якість палива та експлуатаційних матеріалів
Якість збирання автобусів		Удосконалення системи стимулювання праці	Кількість поворотів траси маршруту	Швидкісний режим руху на маршруті
		Застосування обґрунтованих нормативів з ТО і ТР	Інтенсивність руху транспортного потоку	Довжина перегону технологічного циклу
		Виконання рекомендацій і нормативів з ТО і ТР	Кількість смуг руху	Частота планових і позапланових зупинок
		Удосконалення технологій з ТО і ТР	Наявність кишень на зупинках	
		Забезпечення робочих місць і виконавців необхідною технологічною документацією	Освітленість проїжджої частини	
		Застосування раціональних норм витрати палива		
		Удосконалення методів зберігання палива		
		Застосування комп’ютерних технологій		

Рисунок 1 – Фактори, які впливають на витрату палива

В результаті проведеного аналізу аналізу були побудовані математичні моделі, що визначають витрату палива міських автобусів на маршрутах залежно від факторів: середньої експлуатаційної швидкості, кількості зупинок на маршруті, числа крутих поворотів, підйомів та спусків на маршруті, середньої кількості пасажирів у салоні автобуса, пасажиропотоку, середньої температури навколишнього повітря, кількості опадів, пробігу автобуса з початку експлуатації, віку автобуса, добового пробігу автобуса.

В результаті проведеного аналізу впливу досліджуваних факторів формування значення витрати палива міських автобусів отримано, що на витрату палива впливають в основному

природно-кліматичні фактори (30-40 %), швидкісні фактори (24-25 %) та графік роботи автобусів на маршруті (20-25 %).

Список використаних джерел

1. Про затвердження Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті: наказ Міністерство транспорту України від 10.02.1998 р. № 43. URL: https://mtu.gov.ua/files/%D0%9D%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%B7_%D0%9D%D0%BE%D1%80%D0%BC_%D0%B2%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82_%D0%BF%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%B0__%D0%B2%D1%96%D0%B4_10.02.1998_%E2%84%96_43%20(1).pdf/ (дата звернення 10.10.2025).

2. Формування методу забезпечення нормування показників і керування паливною економічністю транспортного засобу у змінних умовах експлуатації/ І.В.Грицук та ін. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті: науковий журнал ISSN2415-3486. Вісник машинобудування та транспорту No1(17), 2023107ЛНТУ. 2022. No18. Том 1. С.56–65

Галущак Олександр Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: galushchak.gs@ vntu.edu.ua.

Галущак Дмитро Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: galuschak.d@gmail.com

Бурченко Вадим Олегович – студ. гр. 1АТ-24м кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vadim.boorkhenko88@gmail.com

Oleksandr Halushchak – Ph.D. (Eng.), associate professor, associate professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: galushchak.gs@ vntu.edu.ua.

Dmytro Halushchak – Ph.D. (Eng.), associate professor, associate professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: galuschak.d@gmail.com.

Vadim Burchenko – student group 1AT-24m of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vadim.boorkhenko88@gmail.com.

УДК 662.756

М.М. Гнип

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВПОРСКУВАННЯ ФОРСУНОК ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

У даній роботі розглядається вплив біодизеля на сучасні системи впорскування Common Rail. Дедалі зростаючий вміст біодизеля в дизелі може по різному вплинути на новітні дизельні двигуни. Таким чином, дана робота буде досліджувати аналітичний розрахунок параметрів впорскування форсунок зі збільшенням співвідношення біодизеля з чистим дизельним паливом.

Ключові слова: *паливна суміш, змішування, двигун внутрішнього згоряння.*

This paper examines the impact of biodiesel on modern Common Rail injection systems. The increasing biodiesel content in diesel can have different effects on modern diesel engines. Thus, this paper will investigate the analytical calculation of injector injection parameters with increasing biodiesel to pure diesel fuel ratios.

Keywords: *fuel mixture, mixing, internal combustion engine..*

Дослідники провели аналіз згоряння біодизеля в дизельних двигунах з системами непрямого та прямого впорскування. Вони дійшли висновку, що біодизель має високе цетанове число, але швидше займання порівняно з дизельним паливом. У сучасних двигунах з прямим впорскуванням та системою Common Rail двигун має високий крутний момент у широкому діапазоні швидкостей. Тому вплив біодизеля менш помітний, а різниця в цетановому числі компенсується багаторазовим впорскуванням. Також було проведено дослідження для оцінки часу згоряння в камері згоряння. Дослідження показало, що біодизель B100 згорає на 11% коротше, ніж чистий дизель B0. Цетанове число дизеля та біодизеля становить від 64 до 70, що призводить до швидшого займання палива. При низьких обертах двигуна та високих навантаженнях вище цетанове число палива покращує ефективність перетворення палива та дозволяє двигуну розвивати більший крутний момент. Таким чином, низькі оберти двигуна та високі навантаження є тими специфічними умовами експлуатації, де вище цетанове число біодизеля є найбільш ефективним [1].

Вчені довели, що ефективний процес згоряння разом з динамікою двигуна тісно пов'язаний з особливостями впорскування палива в камеру згоряння: регулярністю випаровування, утворенням горючої суміші, виділенням тепла при згорянні палива.

Беручи до уваги цю характеристику та виконуючи оптимізацію впорскування палива, можна більш ефективно зменшити шкідливі викиди палива двигуна. Точний контроль тиску палива, швидкості впорскування та часу початку впорскування за допомогою останньої системи впорскування палива Common Rail дозволяє зменшити викиди оксиду азоту та твердих частинок, а також шум двигуна. Електронна система впорскування палива та характеристики двигуна: такі як час впорскування, форма графіка швидкості впорскування, характеристики впорскування камери згоряння мають великий вплив на контроль параметрів та викидів палива під час роботи двигуна [2].

Аналітичні розрахунки проводили за конкретними параметрами сопла (форсунки), з цих параметрів розраховували параметри впорскування з рівнянь динаміки гідромеханічної системи.

Для розрахунку швидкості нагнітання використовується формула для однієї хвилі тиску в потоці рідини (1):

$$P = a \cdot \rho \cdot u; \quad (1)$$

де P – тиск, Па;

a – швидкість звуку в паливі, м·с$^{-1}$;

ρ - густина палива, кг·м^{3};

u – витрата палива, м·с$^{-1}$.

З формули цілісності потоку отримуємо, що швидкість потоку дорівнює добутку швидкості потоку на внутрішню площу труби (2) формула:

$$\frac{dq}{dt} = u \cdot A; \quad (2)$$

де q – об'єм, м^3;
t - час, с;
A - внутрішня площа труби, м^2.

З рівняння 1 отримуємо:

$$u = \frac{\mathrm{P}}{\alpha \cdot \rho}. \quad (3)$$

Вставивши цей вираз у рівняння 2, ми отримали об'ємну швидкість впорскування:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{A}{a(P) \cdot \rho(P)}\, p(t). \quad (4)$$

Відповідна швидкість впорскування маси дорівнює:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{A}{a(P)}\, \mathrm{P}(t). \quad (5)$$

Об'ємна витрата розраховується за формулою Бернуллі:

$$Q = \left(P_{\text{к.з.}} - P_{\text{р}}\right) \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{C_{d\text{р}} \cdot A_{min}} + \frac{1}{C_{d\text{р}} \cdot A_{\text{вн.р.}}}}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left| P_{\text{к.з.}} - P_{\text{р}} \right|}, \quad (6)$$

де Q – об'ємна витрата;
$C_{d\,\text{р}}$ - коефіцієнт проникності отвору для впорскування;
A_{min} - найменший діаметр проходу перед отвором для впорскування;
$A_{\text{вн.р.}}$ - внутрішня область розпилювача;
$\mathrm{P_р}$ - тиск всередині розпилювача;
$\mathrm{P_{к.з.}}$ - тиск у камері згоряння.

Масова швидкість подачі в насадку розраховується за формулою:

$$\dot{m} = Q \cdot \rho; \quad (7)$$

де $\dot{m}$ – масова швидкість подачі;
ρ - густина палива;
Q - об'ємна швидкість впорскування.

Ефективна площа:

$$C_d A = Q \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P}}; \quad (8)$$

де A – ефективна площа;
ρ - густина палива;
Δр – різниця тиску.

Розраховано кількість палива, яке розпилюється форсункою через отвори за заданими параметрами форсунки, розрахунки проводились при тиску 300, 600, 900, 1200 бар, тривалості впорскування 500 мс, для розрахунків використовувалася формула 6.

У теоретичних результатах з рис.1. видно, що згідно з формулою Бернуллі при різній густині палива кількість впорскуваного палива змінюється від В0 до В100 при тиску 300 бар - 2,81%, при 600 бар - 2,82%, при 900 бар - 2,83%, при 1200 планка - 3,03%.

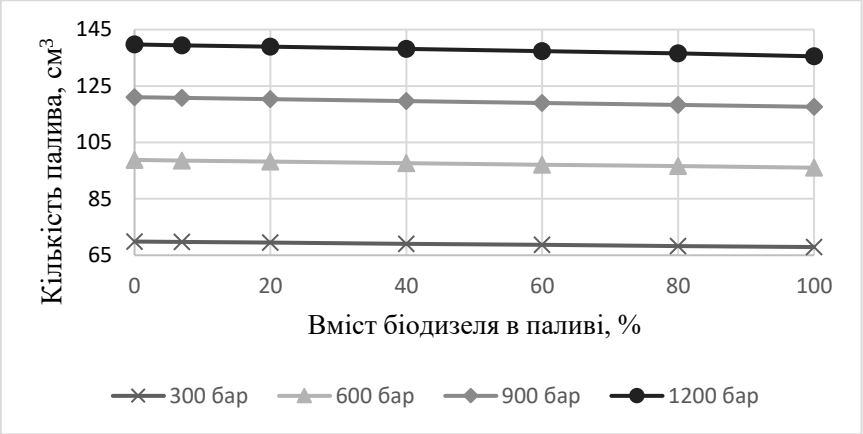


Рисунок 1- Розрахункова кількість палива при різному тиску і паливних сумішах

Підсумовуючи аналітичні розрахунки параметрів інжекторного впорскування, можна зробити наступні фундаментальні висновки - кількість палива, що впорскується зменшується через різну густину палива, різниця між варіаціями палива В0 і В100 становить в середньому 2,82%, але оскільки тиск збільшується до 1200 бар, відносна різниця трохи збільшується до 3,03%.

Список використаних джерел

1. Jaroonjitsathian, S., Sae-ong, P., Siangsanorh, S., Akarapanjavit, N. et al., "A Study of the Effect of Biodiesel Blended Fuel on Diesel Combustion," SAE Technical Paper 2011-01-1952, 2011

2. Nikolić, Boban D., et al. Determining the speed of sound, density and bulk modulus of rapeseed oil, biodiesel and diesel fuel. Thermal Science 2012, 16.suppl. 2: 505-514.

Гнип Марія Михайлівна – доктор філософії, доцент кафедри автомобільного транспорту інституту інженерної механіки та робототехніки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Hnyp Mariia - PhD, associate professor of the Department of Automobile Transport, Institute of Engineering Mechanics and Robotics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

УДК 629.113

К.Е. Голенко, М.О. Диха, І.В. Драч, В.О. Дитинюк

АДАПТИВНІ ПАСКИ БЕЗПЕКИ З КЕРОВАНИМ МОДУЛЕМ ЖОРСТКОСТІ: НОРМАТИВНІ ВИМОГИ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

У статті розглянуто нормативні вимоги UN ECE до пасків безпеки, їх фізико-механічні властивості та динамічну ефективність. Показано, що динамічні навантаження значно перевищують статичні, що актуалізує потребу в інноваціях. Запропоновано концепцію адаптивного паска з керованим модулем жорсткості та математичну модель, яка мінімізує пікові сили при обмеженому вильоті.

Ключові слова: *паски безпеки; UN ECE R16; адаптивні матеріали; модуль жорсткості; оптимальне керування; математичне моделювання; пасивна безпека.*

The paper addresses UN ECE regulatory requirements for seat belts, their physico-mechanical properties, and dynamic performance. It shows that dynamic loads considerably exceed static ones, highlighting the need for innovations. An adaptive seat belt concept with a controllable stiffness modulus is proposed, along with a mathematical model that minimizes peak forces under displacement constraints.

Keywords: *seat belts; UN ECE R16; adaptive materials; stiffness modulus; optimal control; mathematical modeling; passive safety*

У системі UN ECE (United Nations Economic Commission for Europe) паски (ремені) безпеки та їх використання регламентуються кількома основними правилами. Головні документи [1]: UN ECE R16 – Safety belts and restraint systems (базове правило, яке визначає технічні вимоги до пасків безпеки водія, пасажирів та кріплень); UN ECE R14 – Safety-belt anchorages (регламентує розташування та міцність кріплень пасків у кузові, визначає геометрію положення анкерів, зони для підключення пасків, зусилля, які вони повинні витримувати); UN ECE R29 – Protection of occupants of the cab of a commercial vehicle (для вантажних авто/автобусів, стосується також пасків як частини захисту кабіни) [2]; UN ECE R44 / R129 (i-Size) – Child restraint systems (вимагають сумісності дитячих сидінь із ременями безпеки). Узагальнюючи, R16 – це основний документ для сертифікації пасків. Він включає в себе: динамічні випробування (краш-тести з використанням манекенів (Hybrid III, EuroSID тощо) у сидіннях); статичні випробування на міцність (стрічка паска, замки, регулятори та кріплення піддають зусиллям); випробування пряжки (buckle test); випробування інерційного механізму (retractor test); стійкість текстильних стрічок; вимоги щодо сумісності з дитячими кріслами та ISOFIX.

Ключові нормативні значення параметрів (джерела: UN-ECE R16, R14):

- розривна навантажувальна здатність стрічки (strap breaking load): $F_{break} \geq 1470$ кгс (≈ 14.7 кН);

- тестові статичні навантаження на анкерні точки (R14) для категорій M1 / N1: плечова (верхня) / кожна нижня частина: 1350 кгс ± 20 кгс ≈ 13.5 кН; для lap-belt (дві нижні анкерні точки одночасно): 2225 кгс ± 20 кгс ≈ 22.25 кН;

- додаткове інерційне навантаження від сидіння: при виконанні статичного тесту слід додати силу, яка дорівнює n × m_{seat}, де для M1/N1: n = 20 (тобто “20 × маса сидіння” як додаткова сила, застосована для імітації інерції);

- динамічний (швидкісний) тест R16: тестова імпульсна зміна швидкості (50 км/год для фронтального імпульсу) і вимога щодо максимального вильоту манекена (80 – 200 мм). Динамічний тест перевіряє, щоб частини ременя не розривались, пряжки/замки не відмикались, і щоб переміщення манекена/витяг *x* перебувало у заданих межах.

Під час фронтального імпульсу (δV) кінетична енергія манекена маси m повинна бути “погашена” роботою паска безпеки при його розтягуванні / переміщенні Δx:

$$\frac{1}{2}m(\Delta v)^2 = \int_0^{\Delta x} F(x)dx \approx F_{avg} \cdot \Delta x;\ F_{avg} \approx \frac{{}^1\!/_2 m(\Delta v)^2}{\Delta x}. \quad (1)$$

Це пояснює, чому в динамічних тестах пікові/середні сили F_{avg} значно перевищують статичні нормативні значення. Приймемо наступні крайові умови: манекен m = 75 кг; Δv = 50 км/год =

13.89 м/с; границя переміщення ременя Δx = 0.14 м (середнє між 0.08 і 0.20 м, що є допустимим ходом (80 – 200 мм)). Відтак, кінетична енергія KE = 7233.8 Дж; F_{avg} = 51.7 кН. Отже, навіть середня сила ≈ 51.7 кН помітно більше за статичні випробувальні навантаження на анкери (≈13.5–22.25 кН). Це показує, чому динамічні тести (рис. 1) та правильна геометрія/деформації конструкції так важливі [3]: структура кузова/сидіння та система ременів повинні поглинати енергію так, щоб не створити пікових навантажень на слабкі місця. Динамічний розподіл сили і пік залежатимуть від еластичності ременя, переднатягувачів, конструкції сидіння тощо.



а) б) в)

Рисунок 1 – Випробувальні стенди пасків безпеки: а) з інтегрованими пасками згідно R14/R16; б) анкери безпосередньо у кузові; в) прикладання сили для імітації умов аварійного навантаження на анкерні точки

Розглянемо типовий набір фізико-механічних властивостей стрічки паска безпеки (на прикладі автомобільних триточкових ременів, виготовлених з поліестерових тканих стрічок):

- матеріал: найчастіше поліестер (PET) високої міцності або поліамід (PA66), але рідше через більшу чутливість до вологи.

- основні характеристики стрічки ременя: товщина стрічки: 1.1 – 1.4 мм; ширина: стандарт ~46 – 49 мм (у триточкових ременях); маса поверхневої щільності: 50 – 60 г/м; щільність волокна: 1.38 г/см³ (для PET);

- механічні властивості: розривна міцність стрічки: ≥ 14 – 16 кН (регламентована мінімумом 14.7 кН за UN ECE R16); модуль пружності (тензор): 8 – 12 ГПа (PET волокна); подовження при розриві: 15 – 20 %; подовження при робочому навантаженні (~10 кН): 6 – 8 %; міцність на стирання: висока, зберігає працездатність після ≥ 50 000 циклів протягування крізь пряжку;

- фізичні властивості: точка плавлення PET: ~255 – 265 °C; стабільність при низьких температурах: зберігає гнучкість до –40 °C; стійкість до УФ-випромінювання: середня, знижує міцність при тривалій дії, тому передбачені добавки/просочення.

Запропонуємо інноваційні напрями у темі пасків безпеки:

- розумні (сенсорні) ремені: вбудовані датчики натягу, тиску та положення для моніторингу (чи правильно застебнутий ремінь і з яким зусиллям він діє на тіло); біометричні сенсори (серцебиття, дихання) – ремінь перетворюється на елемент медичного моніторингу під час поїздки;

- адаптивні матеріали: використання текстильних композитів із керованим модулем пружності (наприклад, волокна з полімерів із пам’яттю форми або армованих наночастинками) – при низькому навантаженні ремінь м’який, а при різкому ударі жорсткішає (подібно до рідин з дилатантними властивостями);

- інтеграція з переднатягувачами: електромоторні переднатягувачі з багаторазовим використанням (без заміни після аварії) та прогнозовані натягувачі (отримують сигнал від систем ADAS/радарів і спрацьовують ще до зіткнення);

- ергономіка та комфорт: самоадаптивна геометрія (ремінь змінює положення/висоту кріплення залежно від зросту/постави водія);

- інтелектуальна взаємодія з іншими системами: координація з подушками безпеки (ремінь може керовано знижувати натяг (через load limiter), щоб зменшити навантаження на грудну

клітку) та взаємодія з автопілотом (якщо водій не пристебнутий або ремінь неправильно використано, авто обмежує швидкість).

Дослідимо ґрунтовніше ідею математичної моделі адаптивного (керованого) паска з керованим модулем жорсткості.

1. Система та координати. Моделюємо масу манекена m, яка при фронтальному імпульсі рухається вперед відносно кузова; координата $x(t)$ – відносний зсув тулуба у напрямку руху ($x = 0$ – початкове положення). Рух кузова задається прискоренням/децеляцією $a_{veh}(t)$ (відомий імпульс). Гравітацію і бічні компоненти опускаємо (фокус на фронтальному імпульсі).

2. Динамічне рівняння. Пасок моделюємо як елемент з керованою жорсткістю $k(t)$ і демпфером c (можна включити нелінійність); тоді в системі кузов–пасок–манекен:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + k(t)x(t) = -ma_{veh}(t). \quad (2)$$

Початкові умови: $x(0) = 0$, $\dot{x}(t) = 0$. Сила в паску (яку відчуває корпус людини / прикладається до анкера): $F_{belt}(t) = k(t)x(t)$.

3. Енергетичний зв'язок. Повна кінетична енергія манекена до імпульсу (1) базується на нормативній швидкості v = 50 км/год. Якщо пасок "погашає" енергію за переміщення Δx, енергетичний баланс у найпростішому випадку лінійного пружного елемента $F = kx$:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2 \Rightarrow k = \frac{mv^2}{(\Delta x)^2}. \quad (3)$$

4. Керований жорсткий елемент (постановка керування). Мета: зменшити пікове навантаження $\max_t F_{\text{belt}}(t)$ при обмеженні допустимого максимального вильоту $\Delta x \le \Delta x_{\max}$ і при дотриманні технічних меж жорсткості $k_{\min} \le k(t) \le k_{\max}$. Формальна оптимізаційна задача (за час горизонту T) – мінімізувати функціонал згідно з умовами (2):

$$\min_{k(\cdot)} J = \max_{t\in[0,T]} |k(t)x(t)|. \quad (4)$$

Це типова задача оптимального керування з обмеженнями на стан і керування. Для реального розв'язку зазвичай використовують чисельні методи (discretize-then-optimize) або PMP (Principle of Maximum або Pontryagin Maximum Principle) – часто оптимальний вид $k(t)$ виходить "bang-bang" (перемикання між крайніми значеннями $k_{\min}$та $k_{\max}$) або має одну перемикальну ділянку.

PMP – це фундаментальний метод в оптимальному керуванні, який дозволяє знайти оптимальну траєкторію дій керування у динамічній системі. Суть ідеї: маємо систему у вигляді диференціальних рівнянь:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t), x(0) = x_0, \quad (5)$$

де $x(t)$ – стан, $u(t)$ – керування (те, чим можемо впливати). Є функціонал якості (цільова функція), який маємо на меті мінімізувати чи максимізувати:

$$J = \phi(x(T)) + \int_o^T L(x(t), u(t), t)dt, \quad (6)$$

PMP формулює умову оптимальності: вводиться спряжена система з "ціною" для станів із застосуванням H (гамільтоніан):

$$\dot{\lambda}(t) = -\frac{\partial H}{\partial x}, \lambda(t) = -\frac{\partial H}{\partial x(T)}, \text{ де } H(x, u, \lambda, t) = L(x, u, t) + \lambda^T f(x, u, t). \quad (7)$$

Оптимальне керування $u^*(t)$ обирається так, щоб у кожний момент часу воно максимізувало (або мінімізувало) гамільтоніан:

$$u^*(t) = arg\max_{u\in U} H(x, u, \lambda, t), \quad (8)$$

де $x(t)$, $\dot{x}(t)$ – зміщення і швидкість тулуба; керування: $u(t)$ або $k(t)$ – змінна жорсткість паска. Ціль: мінімізувати пік сили $F_{\max}$ або інтеграл перевищення безпечного навантаження. PMP підкаже: оптимальна стратегія керування жорсткістю – "bang-bang" (перемикання між мінімальним і максимальним значенням жорсткості в потрібний момент).

5. Нелінійні/реалістичні моделі жорсткості. Замість лінійного kx можна ввести нелінійність типу $F(x, t) = k(t)\, x + \alpha x^3$ (для більш жорсткого росту при великих переміщеннях); модуль пружності як функція швидкості та напруження: $k_{\text{eff}}(x, \dot{x}, t)$ залежність від "керуючого" поля $u(t)$, наприклад, $k(t) = k_0 + k_1 u(t)$, де u – електричний/магнітний сигнал.

6. Простий числовий приклад. Параметри: m = 75 кг; v = 50 км/год = 13.89 м/с. Обчислимо потрібну сталість жорсткості для двох припущень про допустимий хід Δx = 0.14 м: $k \approx 7.38\times10^5$ Н/м, $F_{max} \approx 1.03\times10^5$ Н (≈103 кН), середня сила $F_{avg} \approx 51.7$ кН. Якщо Δx = 0.25 м: $k \approx$

2.31×10^5 Н/м, $F_{max} \approx 57.9$ кН, середня сила $F_{avg} \approx 28.9$ кН. Це показує: збільшення допустимого ходу з 0.14 → 0.25 м зменшує пік сили приблизно у 1.78 рази.

7. Практичні обмеження і критерії безпеки. Людський поріг для грудної травми контролюється експериментами (HIC, грудне навантаження). Модель слід поєднати з біомеханічними критеріями (обмеження пікової сили/тиску/енергії переданої грудній клітці). Максимальний допустимий хід $\Delta x_{\max}$ обмежується анатомією, функціональністю крісла (зчеплення з подушкою) і конструкцією інтер'єру. Технічні межі $k_{\min}$, $k_{\max}$ залежать від реалізації.

8. Варіанти реалізації матеріалу / механізму зміни $k(t)$. Механічна багатоступенева конструкція (шаруватий текстиль з "розклинюваними" елементами) – перемикання між режимами жорсткості механічним блоком. Електромагнітні/феромагнітні волокна + MR (magnetorheological) просочення – при поданні магнітного поля змінюється опір деформації. Електроактивні полімери (EAP) – змінюють поведінку під електричним полем. Активний переднатягувач в парі з «паском-поглиначем» (електрично/піротехнічно керований) для контролю фаз гасіння енергії.

Список використаних джерел

1. Kim, Changhee & Lee, Seoksoon. (2018). A Study on Safety of Rear Seat Occupant according to Seat Belt Specifications. Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers. 26. 630-637. 10.7467/KSAE.2018.26.5.630.

2. Holenko, K.; Dykha, O.; Koda, E.; Kernytskyy, I.; Royko, Y.; Horbay, O.; Berezovetska, O.; Rys, V.; Humenuyk, R.; Berezovetskyi, S.; Żółtowski, M.; Markiewicz, A.; Wierzbicki, T. Validation of Frontal Crashworthiness Simulation for Low-Entry Type Bus Body According to UNECE R29 Requirements. *Appl. Sci.* 2024, *14*, 5595.

3. Ruban, D.; Kraynyk, L.; Ruban, H.; Zakharova, M.; Metelap, V.; Khotunov, V.; Mykhaylyuta, S. Devising an Approach to Assessing the Durability of Bus Body on a Frame Chassis. *East.-Eur. J. Enterp. Technol.* 2023, *2*, 32–39.

Голенко Костянтин Едуардович – к.т.н., доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, e-mail: holenkoke@khmnu.edu.ua

Диха Максим Олександрович – к.т.н., доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, e-mail: dykhamo@khmnu.edu.ua

Драч Ілона Володимирівна – доктор технічних наук, професор кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету**,** e-mail: drachil@khmnu.edu.ua

Дитинюк Володимир Олександрович – доктор філософії, старший викладач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету, e-mail: vodytyniuk@khmnu.edu.ua

Holenko Kostyantyn E. – PhD, Associate Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnitskyi National University, Khmelnitsky, e-mail: holenkoke@khmnu.edu.ua

Dykha Maksym O. – PhD, Associate Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnitskyi National University, Khmelnitsky, e-mail: dykhamo@khmnu.edu.ua

Drach Ilona V. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science of Khmelnytskyi National University, e-mail: drachil@khmnu.edu.ua

Dytyniuk Volodymyr O. – PhD, senior lecturer of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, e-mail: vodytyniuk@khmnu.edu.ua

УДК УДК 658.5:656.078:004.89

А.О. Головатий, В.В. Аулін, А.В. Гриньків, С.Г. Ковальов, О.П. Цьонь

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧОЇ ЛОГІСТИКИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЄЮ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Розглянуто теоретичні та практичні аспекти побудови й функціонування інформаційних систем логістичного управління транспортно-виробничими підприємствами. Визначено, що основним інструментом інформаційного забезпечення логістичних процесів є спеціалізовані програмні комплекси, інтегровані у корпоративні інформаційні системи. Проаналізовано чинники, що впливають на якість інформаційного супроводу логістики, а також основні управлінські функції, які реалізуються. Запропоновано класифікацію інформаційних систем логістичного управління за рівнем інтеграції та функціональними можливостями, окреслено їхні переваги й недоліки. Удосконалено структуру логістичної інформаційної системи, що включає підсистеми планування, координації та оперативного управління, а також визначено принципи організації логістичної інформації. Розроблено методику побудови та впровадження інформаційних систем логістичного управління транспортно-виробничими підприємствами яка забезпечує ефективне управління потоками матеріальних і інформаційних ресурсів та сприяє підвищенню ефективності діяльності підприємства.

Ключові слова: *логістична інформаційна система; інформаційне забезпечення; транспортно-виробниче підприємство; управлінські функції; інформаційні потоки; ERP-системи; інтеграція логістичних процесів.*

The theoretical and practical aspects of the construction and operation of information systems for logistics management by transport and production enterprises are considered. It is determined that the main tool for information support of logistics processes is specialized software complexes integrated into corporate information systems. The factors that affect the quality of information support for logistics, as well as the main management functions that are implemented, are analyzed. A classification of information systems for logistics management by level of integration and functionality is proposed, their advantages and disadvantages are outlined. The structure of the logistics information system, which includes subsystems of planning, coordination and operational management, is improved, and the principles of organizing logistics information are also determined. A methodology for the construction and implementation of information systems for logistics management by transport and production enterprises is developed, which ensures effective management of flows of material and information resources and contributes to increasing the efficiency of the enterprise.

Keywords: *logistics information system; information support; transport and production enterprise; management functions; information flows; ERP systems; integration of logistics processes.*

Основним інструментом інформаційного забезпечення функціонування логістичних систем на підприємствах, в т.ч. і виробничої логістики виступають спеціалізовані програмні комплекси, що забезпечують процеси збору, оброблення, накопичення та аналітичного опрацювання даних про рух матеріальних і інформаційних потоків у межах усього постачальницько-виробничо-збутового циклу. Ці системи також підтримують процес прийняття управлінських рішень.

Комп'ютерні технології, які реалізують інформаційно-логістичне забезпечення, здебільшого не виділяються як окремі програмні продукти. Вони інтегровані у корпоративні інформаційні системи (КІС) або функціонують як частина інформаційних систем логістичного управління транспортно-виробничим підприємством (ІСЛУТВП).

Якість інформаційного супроводу логістичних процесів, який здійснюється за допомогою КІС або ІСЛУТВП, визначається низкою чинників. До них належать: країна-розробник програмного забезпечення; рівень розвитку засобів програмної підтримки планування логістичних процесів і пов'язаних ресурсів; повнота та якість реалізації управлінських функцій; масштабність системи і ступінь її адаптованості до конкретних типів та видів виробництва.

Планування діяльності здійснюється у межах кожного функціонального блоку системи управління. Різні програмні рішення надають різні можливості щодо багаторівневого планування логістичних процесів підприємства. Для ефективної реалізації цього завдання

необхідне належне інформаційно-логістичне забезпечення, яке створює умови для комплексного управління потоками та ресурсами.

Повнота реалізації управлінських функцій, що підтримуються логістичною системою, та рівень розвитку програмного забезпечення, яке їх забезпечує, є ключовими показниками ефективності ІСЛУТВП. Оцінювання ступеня реалізації цих функцій здійснюється шляхом аналізу відповідності структури системи відомій моделі цілеспрямованої логістичної системи, що базується на концептуальному підході. У центрі такої моделі розташований керований процес – наприклад, рух матеріального або інформаційного потоку у виробництві, під час постачання, збуту чи наданні послуг. Таким чином, формується логістична система управлінських функцій, спрямована на досягнення заданих цілей.

До базових управлінських функцій виробничої логістики належать:

1. Спостереження за поточними результатами – фіксація параметрів виходу керованого процесу (наприклад, кількість виготовлених виробів чи обсяг виконаних послуг).
2. Опис стану системи – формування звітних даних щодо фактичних показників діяльності.
3. Порівняння фактичних результатів із плановими – визначення ступеня виконання завдань постачання чи виробництва.
4. Виявлення відхилень – аналіз причин невідповідності фактичних і запланованих показників, зокрема за допомогою порівняльних звітів.
5. Розроблення управлінських рішень – формування комплексу заходів для усунення виявлених відхилень.
6. Реалізація керуючого впливу – видача наказів, розпоряджень або інших нормативних документів, що визначають дії виконавців.
7. Впровадження управлінських рішень у процес – передача команд безпосереднім виконавцям і контроль за їх виконанням.

Системи класу ERP, які реалізують концепцію повного управлінського контуру, зазвичай підтримують усі зазначені функції, що є їхньою основною перевагою. Вітчизняні інформаційні системи здебільшого орієнтовані на облікові функції – опис стану, порівняння результатів із планом і визначення причин відхилень. Це обмежує їхню здатність до стратегічного планування та гнучкого управління логістичними процесами.

На сьогодні існуючі та впроваджені на практиці ІСЛУТВП можна поділити на два основних типи:

1. Системи першого типу – це спрощені варіанти, що функціонують у межах однієї з логістичних підсистем підприємства (наприклад, системи управління запасами, збутом або постачанням).
2. Системи другого типу – це комплексні рішення, які реалізують функції інформаційно-логістичного забезпечення в межах загальної корпоративної системи управління підприємством.

Недоліком систем першого типу є їхня надмірна орієнтованість на комерційні процеси, обмежені можливості інтеграції та відсутність єдиного підходу до управління логістикою. Такі системи часто закриті для користувача, не забезпечують узгодження між різними підрозділами й не дозволяють усунути вузькі місця у виробничо-транспортних потоках. Це, у свою чергу, знижує потенціал економії витрат і ефективність логістичних рішень.

До систем другого типу належать корпоративні програмні оболонки управління транспортно-виробничими підприємствами, які реалізуються у вигляді модульної архітектури. Кожен модуль відповідає певній функціональній або процесній області діяльності підприємства – постачанню, виробництву, збуту, транспорту чи фінансам. Взаємодія та інтеграція модулів у єдину систему дозволяє створити повний управлінський контур, що забезпечує прозорість і керованість усіх логістичних процесів.

Програмні комплекси провідних зарубіжних розробників підтримують діяльність транспортно-виробничих підприємств у різних галузях економіки, охоплюючи різні типи виробництв. Такі рішення базуються на реалізації мікрологістичних концепцій MRP, MRPII, ERP, що дозволяє ефективно координувати ресурси підприємства. Українські розробки, хоча й універсальніші та масштабованіші, переважно підтримують лише ранні етапи розвитку логістичних концепцій, що обмежує їхню адаптивність до складних виробничих процесів.

Розроблення та впровадження ІСЛУТВП передбачає формування ефективної структури інформаційних потоків у системі логістичного управління підприємством. Основне призначення таких систем полягає у забезпеченні **безперервного руху логістичної інформації,** яка використовується для підтримки процесів прийняття управлінських рішень на всіх рівнях управління.

Формування інформаційних потоків у межах транспортно-виробничого підприємства ґрунтується на дотриманні двох базових принципів:

1. Максимальна близькість збору даних до джерела їх виникнення – інформація має фіксуватися безпосередньо у точках виконання виробничо-збутових операцій, що забезпечує її актуальність і достовірність.

2. Надання даних у зручній для оброблення формі – інформація повинна бути представлена так, щоб її можна було легко трансформувати, аналізувати та порівнювати в різних контекстах управління.

Для побудови ефективної ІСЛУТВП необхідно, щоб логістичні інформаційні потоки відповідали комплексу ключових запитань:

– яка роль і значення логістичної інформації у забезпеченні ефективності підприємства;

– наскільки повними та достовірними є внутрішні інформаційні дані, і чи можна на них спиратися у процесі прийняття рішень;

– яким чином можливо отримати зовнішні дані та наскільки ефективно їх можна інтегрувати у внутрішні інформаційні потоки;

– яким є вплив ресурсів, кадрів і технічних засобів на формування та використання інформації;

– якою має бути оперативність та довговічність отримуваної інформації, щоб вона мала практичну цінність у логістичному управлінні.

Логістичні інформаційні потоки в ІСЛУТВП повинні мати низку структурних властивостей:

– взаємодія та узгодженість між усіма потоками системи;

– наявність причинно-наслідкових зв’язків між елементами логістичного середовища;

– впорядкованість та ієрархічна підпорядкованість компонентів системи;

– інтегративність, тобто здатність забезпечувати цілісність та узгодженість інформаційного простору підприємства.

З урахуванням наведених принципів формується типова структурна декомпозиція ІСЛУТВП, що включає підсистеми збору, оброблення, аналізу та передачі логістичної інформації. Її впровадження дозволяє забезпечити узгоджену роботу всіх елементів логістичного ланцюга, оптимізувати рух матеріальних і інформаційних потоків, підвищити ефективність управлінських процесів та конкурентоспроможність підприємства.

Інформаційні процеси на підприємстві охоплюють три основні різновиди: цілепокладання, планування та регулювання.

ІСЛУТВП функціонує відповідно до низки основоположних принципів:

– принципу зворотного зв’язку, що забезпечує адаптацію системи до змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі;

– принципу запізнювання, який враховує часові затримки у передаванні та обробленні інформації;

– принципу коефіцієнта підсилення, що визначає ступінь реакції системи на управлінські впливи;

– принципу синергійного ефекту, який підкреслює взаємопідсилення дії окремих елементів системи при їх узгодженій роботі.

Інформаційні дані, що циркулюють в ІСЛУТВП, відображаються в управлінських рішеннях, які, у свою чергу, визначають динаміку розвитку підприємства. Система функціонує як замкнений логістичний контур, де будь-які зміни інформації мають супроводжуватися відповідним коригуванням алгоритмів управління. Варто зазначити, що управлінські впливи можуть мати як позитивний, так і негативний ефект залежно від точності та своєчасності прийняття рішень.

Основним завданням елементів логістичної інформаційної системи (ЛІС) є забезпечення функціонування логістичного управління на підприємстві, а також реалізація таких функцій, як

планування, регулювання та контроль. Структура ЛІС поділяється на організаційну та функціональну.

Організаційна структура охоплює взаємопов'язані підсистеми, що спільно забезпечують роботу транспортно-виробничого підприємства.

Функціональна структура базується на системі транзакцій між логістичними ланками, що визначають взаємодію між підрозділами підприємства, логістичними посередниками та споживачами продукції або послуг. Запропонована структура має системні характеристики, узгоджені з цілями підприємства для різних рівнів його організаційної ієрархії.

ЛІС обслуговує рівні ієрархії логістичних операцій, для кожного з яких формується відповідний обсяг інформаційного забезпечення. Ієрархічна модель демонструє розподіл логістичних операцій за рівнями управління, визначаючи призначення інформаційних потоків у межах системи.

Основні принципи організації логістичної інформації такі:

- доступність – забезпечення простоти й зручності отримання даних;
- точність – достовірне відображення реальних процесів;
- своєчасність – оперативне оновлення інформації у системі;
- виявлення виняткових ситуацій – можливість автоматичного сповіщення менеджерів про критичні відхилення;
- гнучкість – здатність системи задовольняти потреби користувачів і клієнтів;
- відповідне оформлення – представлення інформації у форматі, зручному для її використання.

Удосконалена структура ЛІС включає дві підсистеми – планування і координації та оперативного управління. До неї додається схема руху потоків логістичної інформації, що забезпечує взаємозв'язок між рівнями управління.

На основі базової організаційно-функціональної схеми ІСЛУТВП і запропонованого методу її побудови може бути створена комплексна модель організації та впровадження системи, що передбачає:

– алгоритм організації інформаційно-логістичної системи на транспортно-виробничому підприємстві;

– організаційні принципи та алгоритм її впровадження;

– механізм адаптації організаційної структури підприємства під час інтеграції системи.

Таким чином, проведено аналіз сучасного стану та етапів розвитку логістичних інформаційних систем на транспортних і виробничих підприємствах. Визначено, що найбільш поширеними у світовій практиці є системи типу MPS, SIC, MRP, CRP, MRP II, CSRP. Установлено, що головним інструментом інформаційного забезпечення є спеціалізовані програмні продукти, інтегровані в корпоративні або галузеві інформаційні системи управління. Визначено фактори, що впливають на якість інформаційного забезпечення. Розкрито сутність управлінських функцій у логістичній системі підприємства та проаналізовано їх вплив на ефективність логістичних процесів. Визначено переваги та обмеження існуючих інформаційних систем управління. Запропоновано методику побудови інформаційної системи логістичного управління, яка визначає склад елементів, інформаційні процеси та потоки, а також типову структурну декомпозицію системи. Теоретично обґрунтовано удосконалену логістичну інформаційну систему управління, що включає чотири рівні ієрархії логістичних операцій і схему руху інформаційних потоків, придатну для застосування на транспортних, виробничих та сервісних підприємствах.

Список використаних джерел

1. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.] ; під заг. ред. В. В. Ауліна. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. - 428с.

2. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.

3. Формування логістичної інформаційної системи ефективного управління транспортними і виробничими підприємствами / В. В. Аулін, О. Л. Ляшук, А. В. Гриньків [та ін.]

// Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 9(40). - Ч. 2. - С. 204-218.

4. Аулін В.В. Тектологічний підхід формування логістичних систем на транспортних і виробничих підприємствах Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36) ч.II. С.313-324.

Головатий Артем Олегович **–** ст. викладач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: artemholovatyi@ukr.net

Аулін Віктор Васильович **–** д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: aulinvv@gmail.com

Гриньків Андрій Вікторович – к.т.н., старший дослідник, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Ковальов Сергій Григорович **–** к.п.н., доц. кафедри вищої математики та фізики, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: Kovalyovserggr@ukr.net

Цьон Олег Петрович **–** к.т.н., доцент, завідувач кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, e-mail: tsonoleg@gmail.com

Holovatyi Artem O. – Senior Lecturer, Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: artemholovatyi@ukr.net

Aulin Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: aulinvv@gmail.com

Hrynkiv Andriy V. – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Senior Lecturer, Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Kovalyov Serhiy G. – Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof. Department of Higher Mathematics and Physics, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: Kovalyovserggr@ukr.net

Tsyon Oleg P. – Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Automobiles, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, e-mail: tsonoleg@gmail.com

УДК 656:338

Д.В. Голуб, В.В. Аулін, Р.П. Кічура, О.В. Ювженко

РОЗРОБКА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПРОЦЕСОМ АВТОМОБІЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Виявлено, що технологію транспортного процесу вантажних перевезень при його моделюванні можна описати набором операцій, які є переліком записаних в певній послідовності елементів, з зазначенням параметрів їх роботи. Наведено розподіл таких елементів в операції та виявлено керуючі серед них.

Запропоновано алгоритм управління транспортним процесом вантажних перевезень з застосуванням інформаційних елементів різного рівня. Було доведено, що простір станів інформаційних елементів на кожному рівні слід поділяти на узагальнені ситуації, для яких номер відповідного рішення має бути визначений наперед.

Ключові слова: *транспортний процес, вантажні перевезення, моделювання, операція, інформаційний елемент, параметри.*

It was found that the technology of the transport process of freight transportation during its modeling can be described by a set of operations, which are a list of elements recorded in a certain sequence, with an indication of their operation parameters. The distribution of such elements in the operation is given and the controls among them are identified.

An algorithm for controlling the transport process of freight transportation using information elements of different levels is proposed. It was proved that the state space of information elements at each level should be divided into a common status for which the corresponding decision number should be determined in advance.

Keywords: *transport process, freight transportation, modeling, operation, information element, parameters.*

Роботу автомобільної транспортної системи можна представити набором операцій, які умовно розділяють на технологічні, керуючі і інформаційні [1-4]. Під операцією розуміють закінчену частину технологічного процесу автомобільної транспортної системи [2, 3]. При моделюванні операція є набором записаних в певній послідовності елементів, які необхідні для виконання певної частини технологічного процесу, з зазначенням параметрів їх роботи [3, 5]. Пересування і простої в операції представляються за допомогою логічних елементів [6, 7]. Для відображення місткості в математичній моделі використовуються бункерні елементи.

Для моделювання управління в моделі вводяться керуючі елементи і операції. При цьому керуючим елементом є бункерний елемент. Створення керуючих елементів відбувається для кожного інформаційного бункерного елементу:

$$\forall\left\{\left\langle \hat{q}_j^k \right\rangle, \left\langle \hat{q}_j^u \right\rangle\right\} \exists \hat{q}_x \in \tilde{Q}, \quad \hat{q}_x(t) = \alpha, \beta, \chi, \ldots, \quad \tilde{Q} \subset Q, \tag{1}$$

де Q, $\tilde{Q}$ - відповідно множина бункерних і інформаційних елементів;

$\left\langle \hat{q}_j^k \right\rangle, \left\langle \hat{q}_j^u \right\rangle$ - відповідно простий і узагальнений інформаційні бункерні елементи;

$\hat{q}_x$ - керуючий бункерний елемент;

$\alpha, \beta, \chi, \ldots$ - ідентифікатор рішення, який фіксується на керуючому елементі $\hat{q}_x$.

Встановлено, що керуюча операція впливає на зміну стану відповідного керуючого елемента [2, 3, 5]. Одночасно всі можливі стани інформаційних елементів на кожному рівні формуються у вигляді укрупнених ситуацій. Для кожної конкретної ситуації ідентифікатор рішення має бути визначений заздалегідь, а формування структури укрупнених ситуацій та відповідних з ними керуючих рішень здійснює користувач, оскільки автоматичне отримання цих даних неможливе. Після виконання наступної інформаційної операції алгоритм перевіряє, чи залишається новий стан у межах попередньої ситуації або відбувся перехід до іншої. Якщо відбувається перехід, приймається нове рішення, що супроводжується активацією відповідної керуючої операції.

$$\left(\forall\left\{\left\langle \hat{q}_j^k\right\rangle,\left\langle \hat{q}_y^u\right\rangle\right\}\in\tilde{Q}_s\left|\hat{q}_j^k\le\underline{\hat{q}}_j^k(t)\le\overline{\hat{q}}_j^k,\underline{\hat{q}}_y^u\le\underline{\hat{q}}_y^u(t)\le\overline{\hat{q}}_y^u\right.\right)\wedge\left(\tilde{q}_x(t)=\beta\right)\equiv K_s, \quad (2)$$

де $\tilde{Q}_s$ - підгрупа інформаційних елементів, які використовуються для опису s-ї ситуації;

$\hat{q}_j^k(t)$, $\hat{q}_j^u(t)$ - стан *j*-го і *y*-го інформаційних елементів;

$\underline{\hat{q}}_j^k$, $\overline{\hat{q}}_j^k$, $\underline{\hat{q}}_y^u$, $\overline{\hat{q}}_y^u$ - мінімальне і максимальне значення станів для *j*-го і *y*-го інформаційних елементів в *s*-й ситуації;

$\tilde{q}_x(t)$ - характеристика стану керуючого елементу;

β - ідентифікатор рішення, який співвідноситься з s-ю ситуацією;

K_s - s-та ситуація.

На рис. 1 представлений приклад процесу ухвалення рішення після прибуття автопарку рухомого складу під навантаження в моделі логістичного вузла.

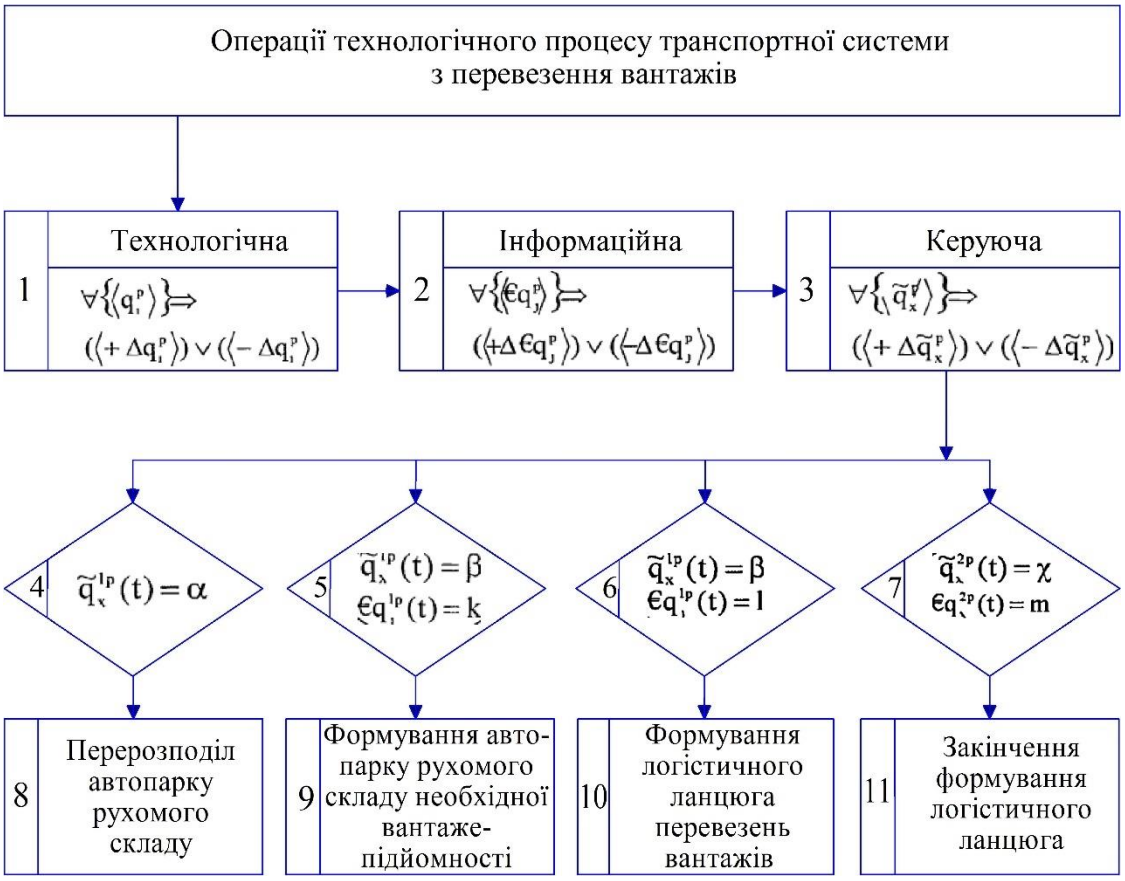


Рисунок 1 - Вигляд блок-схеми процесу ухвалення рішення на прикладі прибуття автопарку рухомого складу під навантаження в моделі логістичного вузла

Блок 1 означає технологічну операцію перерозподілу автопарку рухомого складу. На технологічних бункерних елементах, що беруть участь у перерозподілі (верхній індекс «р»), здійснюється зміна місткості $\forall\left\{\left\langle q_i^p\right\rangle\right\}\Rightarrow\left(\left\langle+\Delta q_i^p\right\rangle\right)\vee\left(\left\langle-\Delta q_i^p\right\rangle\right)$. Це елементи, що відображають стан автопарку рухомого складу, що прибуває під навантаження, а також елементи, що відображають стан логістичних каналів, які призначені для доставки вантажів.

Блок 2 відповідає за інформаційну операцію формування автопарку рухомого складу необхідної вантажопідйомності.

На відповідні технологічні інформаційні елементи, що відповідають базовим характеристикам, заноситься місткість транспортних засобів $\forall\left\{\left\langle \hat{q}_i^p \right\rangle\right\} \Rightarrow \left(\left\langle +\Delta\hat{q}_i^p \right\rangle\right) \vee \left(\left\langle -\Delta\hat{q}_i^p \right\rangle\right)$, що імітує передачу інформації диспетчерському персоналу.

Блок 3 представлений керуючою операцією формування логістичного ланцюга перевезень вантажів. На керуючі елементи заносяться значення $\alpha, \beta, \chi, \ldots$ визначені для ситуації $\forall\left\{\left\langle \tilde{q}_i^p \right\rangle\right\} \Rightarrow \left(\left\langle +\Delta\tilde{q}_i^p \right\rangle\right) \vee \left(\left\langle -\Delta\tilde{q}_i^p \right\rangle\right)$.

Блоки 4-7. На підставі наявних у алгоритмі інформаційних керуючих елементів, здійснюється вибір дій після операції розпуску. Цей процес імітує процес ухвалення рішення диспетчером.

Наприклад, якщо значення на елементі керування, у нинішній момент часу $\tilde{q}_x^{1p}(t)$ дорівнює α (блок 4), то приймається рішення про виконання перерозподілу автопарку рухомого складу в логістичному вузлі. Поточним значенням на керуючому елементі $\tilde{q}_x^{1p}(t)$ в прикладі є кількість автопарку рухомого складу з моменту закінчення останньої операції його перерозподілу. Моделюється це в операції формування логістичного ланцюга перевезень вантажів (блок 3).

Значення α, при якому здійснюється перерозподіл, задає користувач на етапі введення початкових даних. Після виконання операції перерозподліу у відповідній операції керування, значення місткості на керуючому елементі $\tilde{q}_x^{1p}(t)$ обнуляється.

У блоках 5-7 використовуються наступні керуючі і інформаційні елементи:

$\hat{q}_j^{1p}(t)$ - інформаційний елемент, що відображає поточний стан диспетчерського керування автопарком рухомого складу;

$\hat{q}_j^{2p}(t)$ - інформаційний елемент, що відображає поточний стан формування логістичного ланцюга перевезень вантажів;

$\hat{q}_x^{2p}(t)$ - керуючий елемент, що характеризує процеси на шляху накопичення автопарку рухомого складу (відбувається закінчення формування логістичного ланцюга).

Блоки 8-11. Технологічні операції, що виконуються залежно від стану керуючих інформаційних елементів.

Список використаних джерел

1. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Замуренко А.С. Особливості дослідження ефективності транспортних систем на етапах життєвого циклу. Вісник машинобудування та транспорту №1(13), 2021. - С. 15-16.

2. Голуб Д.В. Теоретична модель транспортної системи як сукупності взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів та підсистем. Кропивницький:ЦНТУ,№ 5(36),Ч.2, 2022. С. 324-334.

3. Голуб Д.В. Методи та підходи до моделювання ефективності цілей операцій в транспортних системах. Кропивницький: ЦНТУ, 2022. Вип. 5(36). Ч.1 С. 317-327.

4. Мурад'ян А. О. Методичні основи узгодженого управління процесом перевалки вантажів у загальнотранспортних вузлах : дис. … канд. тех. наук : 05.22.01 / Мурад'ян А. О. ; Одеський національний морський університет. – Одеса, 2016. – 166 с.

5. Akbardin Juang, Parikesit Danang, Riyanto Bambang Development of Road Freight Transportation Distribution Model Based on Vehicle Transportation Inter Zone Requirement. Transportation Research Procedia, Vol. 48, 2020. P. 562-573.

6. Голуб Д.В., Аулін В.В., Замуренко А.С., Кічура Р.П., Ювженко О.Ю., Біліченко В.В. Забезпечення та підвищення надійності й ефективності процесу автомобільних вантажних перевезень побудовою дерева відмов структурних елементів транспортної системи. Вісник машинобудування та транспорту №18(2), 2023. С. 46-55.

7. Голуб Д.В. Підвищення ефективності управління технологічним процесом доставки на основі аналізу статичних та динамічних резервів транспортної системи. Кропивницький: ЦНТУ, Вип. 7(38). Ч.1, 2023. С. 214-221.

Голуб Дмитро Вадимович – к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Dimchik529@gmail.com

Аулін Віктор Васильович – д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, AulinVV@gmail.com

Кічура Руслан Петрович – аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, romnik83@ukr.net.

Ювженко Олександр Володимирович – аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, 40101001@ gmail.com.

Holub Dmytro – Ph.D. Assoc. Prof, Associate Professor, Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, dimchik529@gmail.com.

Aulin Viktor – Dr. Prof., Professor, Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, AulinVV@gmail.com.

Kichura Ruslan - getter Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, romnik83@ukr.net.

Yuvzenko Oleksandr - getter Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, 40101001@ gmail.com.

УДК 656.025.4:656.11/.12

П.Ф. Горбачов, М.В. Прохорчук

ОЦІНКА ПРОБЛЕМНИХ АСПЕКТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПРІОРИТЕТУ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ В ЗОНІ ПЕРЕХРЕСТЯ

У роботі розглянуто вплив надання пріоритету громадському транспорту на підходах до перехресть та безпосередньо на їхній території. Проаналізовано різні типи спеціальних смуг і стратегії світлофорного пріоритету, визначено їх переваги для підвищення швидкості й надійності руху громадського транспорту, а також виявлено потенційні негативні наслідки для приватного транспорту, пішоходів та загальної ефективності дорожньої мережі.

Ключові слова: *пріоритет громадського транспорту; перехрестя; виділені смуги; стрибкові смуги; світлофорний пріоритет (TSP); затримки руху; міська мобільність.*

The paper examines the impact of prioritizing public transport at intersection approaches and within them. Different types of dedicated lanes and traffic light priority strategies are analyzed, their benefits for increasing public transport speed and reliability are identified, and potential negative impacts on private transport, pedestrians, and the overall efficiency of the road network are identified.

Keywords*: public transport priority; intersections; dedicated lanes; jump lanes; traffic light priority (TSP); traffic delays; urban mobility.*

Міські затори є однією з найпоширеніших і найдорожчих проблем сучасності. Перевантаженість вулично-дорожньої мережі не тільки збільшує час поїздок для всіх учасників руху, але й призводить до зниження надійності громадського транспорту (ГТ) [3]., роблячи його менш привабливим для пасажирів. Це створює негативний цикл: затримки ГТ змушують людей пересідати на особисті автомобілі, що ще більше посилює затори. Для розриву цього кола наукові дослідження і міське планування дедалі частіше звертаються до заходів пріоритету для громадського транспорту, особливо на критичних ділянках, таких як підходи до перехресть. Ці зони є місцями найбільших затримок, оскільки саме тут транспортні потоки з різних напрямків зливаються, утворюючи черги.

Пріоритет громадського транспорту на перехрестях є інструментом підвищення ефективності його роботи. Однак, незважаючи на очевидні переваги, впровадження таких систем, зокрема на перехрестях, несе із собою низку значних негативних наслідків, які не є фундаментальними недоліками самої концепції, а наслідками складнощів у її реалізації та розподілі ресурсів[7]..

Предметом дослідження в роботі є специфічні заходи пріоритету, що застосовуються на підходах до перехресть та безпосередньо на них. Використання спеціальних смуг у цих зонах має на меті надати автобусам, тролейбусам та іншим видам ГТ безперешкодний проїзд, що дозволяє їм обходити черги приватних автомобілів, які очікують дозволу на рух. В ході дослідження було проаналізовано публікації в яких розглядаються різні типи спеціальних смуг та стратегії надання пріоритетну ГТ на перехресті. Пріоритет громадського транспорту за світлофорним керуванням (TSP - Transit Signal Priority) – система, яка за допомогою адаптивного керування світлофорами надає перевагу автобусам, наприклад, подовжуючи зелену фазу або скорочуючи червону для забезпечення їхнього безперешкодного проїзду через перехрестя [1, 2].

Впровадження смуг громадського транспорту на підходах до перехресть пов'язане зі значними викликами та обмеженнями, які необхідно ретельно враховувати. Ці недоліки стосуються як впливу на загальний потік, так і питань ефективного використання дорожніх ресурсів та практичної реалізації.

Одним із головних обмежень є неефективність смуг в умовах насиченого трафіку. Дослідження показують, що переваги від "стрибкових смуг" (Queue Jumpers) починають швидко зменшуватися, коли інтенсивність руху перевищує 1000 автомобілів за годину на смугу [2]. У пікові години, коли довгі черги утворюються по всіх смугах, автобуси не завжди мають можливість об'їхати ці затори, що зводить нанівець їхній пріоритетний статус [2].

Крім того, заходи пріоритету можуть мати значний негативний вплив на рух перехресних вулиць. Наприклад, комбінація "стрибкових смуг" і TSP може збільшити середні затримки для

транспорту на поперечних вулицях до 15% [2]. Цей ефект особливо відчутний там, де інтенсивність трафіку на перехресних підходах є високою [2]. В результаті, може спостерігатися загальне погіршення показників трафіку на рівні всієї дорожньої мережі, спричинене саме погіршенням умов руху на бічних вулицях [2]. Це створює ситуацію, коли покращення умов для одного виду транспорту досягається за рахунок погіршення умов для інших, що вимагає ретельного балансування

Пріоритет громадського транспорту може мати негативний вплив на пішохідний рух. У дослідженні, проведеному в Торонто[5], було виявлено, що стратегія «безумовного продовження» зеленого сигналу для транзиту на 30 секунд призвела до скарг на «тривалий час очікування для пішоходів». Тож важливим є питання з питання: збалансувати ефективність перевезення великої групи людей (пасажирів громадського транспорту) з індивідуальним досвідом та безпекою окремої людини (пішохода чи велосипедиста).

Данні стосовно затримок в русі непріоритетних транспортних засобів, в залежності від стратегії надання пріоритету ГТ на перехресті наведено в таблиці 1 [6].

Таблиця 1 – Зміна затримок в русі для автобусів і приватних авто при наданні громадському транспорту пріоритету на перехресті

Тип стратегії	Пріоритет надається	Затримка для автобусів	Затримка для авто
Безумовний пріоритет (Unconditional TSP)	Завжди	–18% до –30%	+5% до +20%
Умовний пріоритет (Conditional TSP)	При запізненні	–10% до –25%	0% до +5%
Адаптивний/реальний (Real-time)	Враховуючи трафік	–15% до –28%	–2% до +3%
Координований (Arterial Coordination)	У мережі фаз	–12% до –20%	+2% до +10%

Найбільш ефективними є стратегії умовного та адаптивного пріоритету. Використання стратегії адаптивного пріоритету дозволяє в деяких випадках знизити затримки на перехресті як ГТ так і для приватних автомобілів, однак реалізація цих стратегій вимагає значних капіталовкладень і використання складних алгоритмів роботи. Ці стратегії вимагають повного переосмислення традиційної інфраструктури, перетворюючи звичайні перехрестя на інтелектуальні вузли. [4] Капіталовкладення починаються з необхідності встановлення сучасних систем виявлення та зв'язку. Це включає розгортання GPS/AVL (автоматизоване визначення місцезнаходження транспортних засобів) обладнання на всьому парку ГТ для безперервного відстеження місцезнаходження та швидкості. На рівні дорожньої інфраструктури потрібна модернізація контролерів світлофорів до моделей, здатних підтримувати адаптивне управління та двосторонній зв'язок (V2X). Часто це передбачає встановлення нових дорожніх датчиків, камер або радарів для збору даних про загальний трафік, а також надійних систем зв'язку для передачі даних у реальному часі між транспортними засобами, контролерами та центральною системою управління. Це створює високий поріг входу для муніципалітетів із обмеженим бюджетом, оскільки модернізація навіть одного коридору може коштувати мільйони.

Якщо ж розглядати більш доступні для міст України варіанти надання пріоритету громадському транспорту на перехрестях з жорстким світлофорним управлінням, то тут високої актуальності набуває питання взаємодії маршрутних транспортних засобів зі звичайними автомобілями, які повертають направо з магістралі з маршрутами ГТ. У багатьох варіантах організації дорожнього руху цей поворот виконується з виділеної для ГТ смуги, але яким чином має бути організована раціональна взаємодія цих конкуруючих потоків ще е визначено не до кінця і це питання вирішується проектувальниками по різному. Важливим кроком на шляху до вирішення цього питання є створення підходу до визначення оптимальної довжини сумісного використання спеціальної смуги перед перехрестям. При визначені довжини смуги необхідно враховувати параметри світлофорного циклу, показники інтенсивності громадського транспорту і непріоритетних транспортних засобів, геометричні параметри проїзної частини зокрема кількість та ширина смуг руху, конфігурація підходів, наявність острівців безпеки,

радіуси заокруглень, а також габаритні характеристики транспортних засобів, що обслуговують маршрутну мережу. Крім того, слід ураховувати можливі зміни інтенсивності руху у різні періоди доби, умови видимості, особливості організації руху на суміжних ділянках та потенційний вплив смуги на пропускну здатність інших потоків.

Список використаних джерел

1. Assess impacts and benefits of traffic signal [Звіт] [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://surl.li/lylgem (дата звернення: 25.09.2025).
2. Громадський транспорт у заторі нікому не треба або Навіщо Львову виділені смуги [Електронний ресурс] // Tvoemisto.tv. – Режим доступу: https://surl.li/advvxw (дата звернення: 25.09.2025).
3. The Impact of Traffic on Urban Planning and Car Usage: Challenges and Solutions [Електронний ресурс] // Purr. – Режим доступу: https://surl.lt/gbtuxj (дата звернення: 12.08.2025).
4. Сучасні проблеми та перспективи розвитку системи міського транспорту [Електронний ресурс] // SciSpace. – Режим доступу: https://surl.li/nzupds (дата звернення: 25.09.2025).
5. Impacts of Transit Priority on Signal Coordination: Case Study of Toronto, Ontario, Canada [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://surl.li/twgmiz (дата звернення: 22.08.2025).
6. Arhin S., Manandhar B., Obike K., Anderson M. Impact of Dedicated Bus Lanes on Intersection Operations and Travel Time Model Development : research report / Mineta Transportation Institute, San José State University. – San José, 2022. – 139 p. – DOI: 10.31979/mti.2022.2040. – Режим доступу: https://scholarworks.sjsu.edu/mti_publications/403 (дата звернення: 01.10.2025).
7. Strategies to Accelerate Bay Area Transit [Електронний ресурс] // SPUR. – Режим доступу: https://surl.lt/osicun (дата звернення: 15.09.2025).

Горбачов Петро Федорович – д.т.н., професор, e-mail: gorbachov.pf@gmail.com
Прохорчук Марина Володимирівна – старший викладач кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: maribel.dictu@gmail.com

Peter Horbachov – DSc in Transport Systems, Kharkiv, e-mail: gorbachov.pf@gmail.com
Marina Prochorchuk – Senior Lecturer Department of Mechanical Engineering and Road Transport Zhytomyr Polytechnic State University , Zhytomyr e-mail: maribel.dictu@gmail.com

УДК 621.891

А.Б. Гупка, І.Б. Гевко, Р.Я. Лещук, Г.Б. Цьонь, С.І. Остапчук

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ ПРИ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСАХ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

У роботі представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень перехідних процесів тертя у важконавантажених трибоспряженнях машин та механізмів з використанням розробленого трибометра та встановлено закономірності формування вторинних структур на поверхнях деталей трибоспряження. Запропонована конструкція трибометра дає змогу моделювати динамічні режими навантаження, реверсні рухи та різні умови мащення, що дозволяє адекватно відтворити процеси припрацювання і зношування в реальних умовах експлуатації.

Ключові слова: *зносостійкість, зношування, тертя, трибометр, параметрична модель дослідження,перехідні процеси, трибоспряження, коефіцієнт взаємного перекриття.*

The paper presents the results of theoretical and experimental studies of friction transients in heavily loaded tribocouplings of machines using the developed tribometer and establishes the regularities of the formation of secondary structures on the surfaces of the tribocoupling. The proposed design of the tribometer allows you to simulate dynamic loading modes, reverse movements and various lubrication conditions, which allows you to adequately reproduce the running-in and wear processes in real operating conditions.

Keywords: *wear resistance, wear, friction, tribometer, parametric research model, transient processes, tribocoupling, mutual overlap coefficient.*

Трибологія, як і інші галузі науки і техніки знаходиться в неперервному розвитку. В роботі розглянута найменш досліджена в трибології проблема перехідних процесів тертя, які в значній мірі визначають надійність і довговічність машин в реальних умовах експлуатації. Теоретичні основи перехідних процесів тертя тільки формуються, тому розглянуто тільки методологічну сторону даної проблеми для вирішення практичних задач. Закономірності перехідних процесів являються суттєво кінетичними. Для них важливо враховувати термодинамічні обмеження.

Закономірності перехідних процесів можуть бути встановлені тільки при системному структурно-енергетичному підході, так, як зумовлені вони узгодженням поведінки всіх елементів системи тертя і структурою (спектром) силового навантаження і робочого середовища. Перехідні процеси тертя у вузлах машин протікають в початковий період їх експлуатації (припрацювання), в режимах пуск-зупинка-реверс, динамічного (ступінчастого) характеру навантаження, перепадів температури. У багатьох випадках при роботі важконавантажених трибоспряжень ці процеси зумовлюють основну частку зношування і пошкоджуваності, хоча їх тривалість в часі в порівнянні із періодом експлуатації машин як правило незначна. В режимі перехідного тертя та зношування працюють елементи багатьох кінематичних трибоспряжень, в той час, як система в цілому навантажується стаціонарно. Практично будь-яке трибоспряження, яке експлуатується із коефіцієнтом взаємного перекриття Квп≠1, працює в режимі перехідних процесів [1].

Враховуючи вище перелічене, запропоновано конструкцію трибометра (рис. 1) для дослідження перехідних процесів в зоні фрикційного контакту важконавантажених трибоспряжень машин.

Працює трибометр наступним чином. Контртіло 1 у вигляді диска з плоскою робочою поверхнею одержує обертовий рух n_1 від гідроприводу (з плавним характером зміни і можливістю реверсного руху). Змонтовано контртіло 1 на валу гідроприводу трибометра 2. Досліджуваний зразок 3 із прямокутною формою робочої поверхні кріпиться в спеціальному зразкотримачі 4 із зубчастою поверхнею, який через підшипникові вузли вмонтовано у корпусі 5, що шарнірно кріпиться до штанги 6. На другому кінці штанги закріплено механізм навантаження зразка, який включає в себе направляючу гільзу 7, мікрометричний гвинт 8, пружину 9, направляючу 10, в якій закріплено ролик 11. На корпусі 15 закріплено сегменти 12

(відповідної кількості та форми), а також зубчасті сегменти 13, 14. Зубчастий сегмент 14 може займати різне положення (14*), що суттєво впливає на процес в зоні фрикційного контакту і методику дослідження.

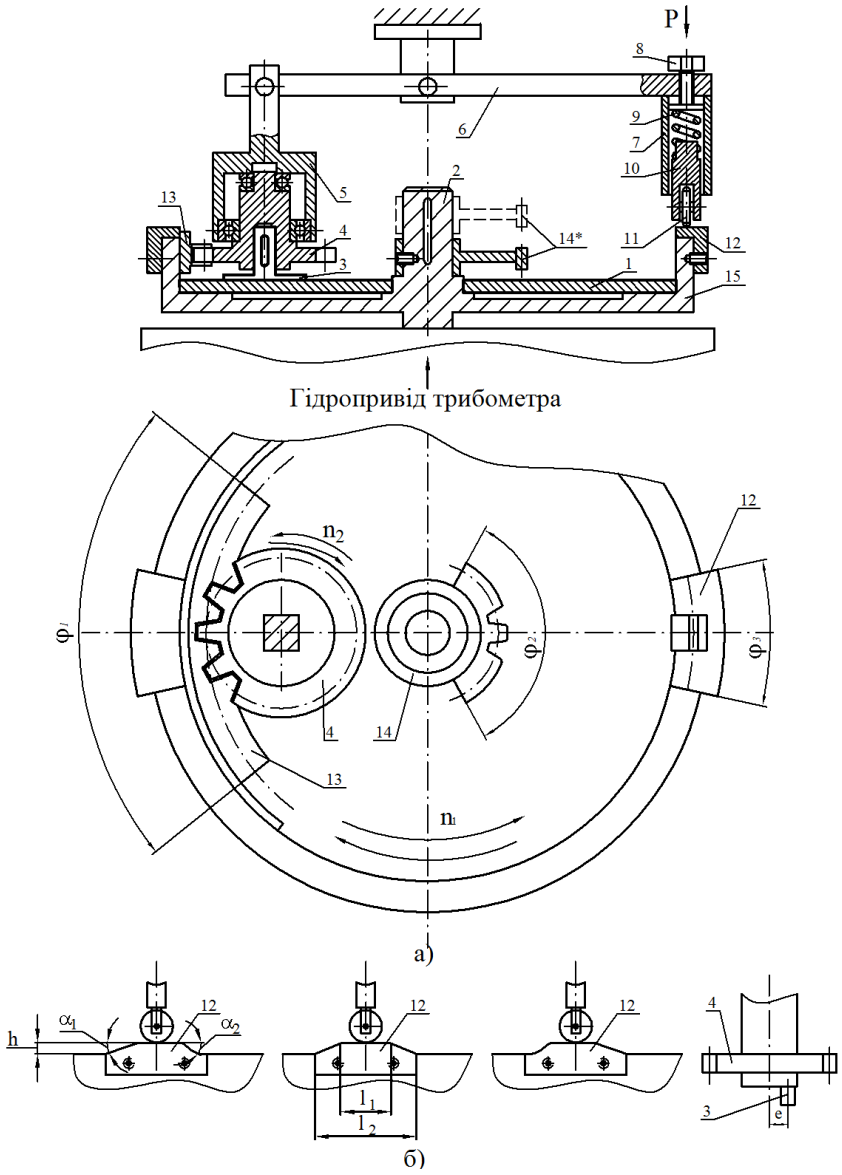


Рисунок 1 - Схема вузла тертя та механізм навантаження трибометра (а), варіанти виконання сегментів 12 та розміщення зразка 3 відносно зразкотримача 4 (б), α_1, α_2 – кути підйому та сходження сегмента 12, h – висота підйому сегмента

Аналізуючи вхідні параметри та умови експлуатації важконавантажених трибоспряжень, попередні експериментальні дослідження та дослідження інших авторів, вибрана наступна схема контакту трибоспряження (рис. 2): пальчиковий зразок 1 – плоска торцева поверхня диска 2 (контртіло).

Контртіло здійснює обертовий рух (одно направлений або реверсивний) із плавним характером зміни частоти обертання в горизонтальній площині. Дана схема контакту оптимальна як для візуального нагляду за досліджуваними процесами, так і для подачі мастильного матеріалу в зону тертя, форма робочих поверхонь тертя зручна для подальших металографічних досліджень їх структурного стану. Величина $К_{вп}$ по запропонованій методиці визначається із співвідношення

$$К_{вп} = F_1/F_2,$$

де F_1 – площа тертя пальчикового зразка 1 (величина постійна в межах одного експерименту);

F_2 – площа тертя контртіла 2 (змінна величина в межах одного експерименту).

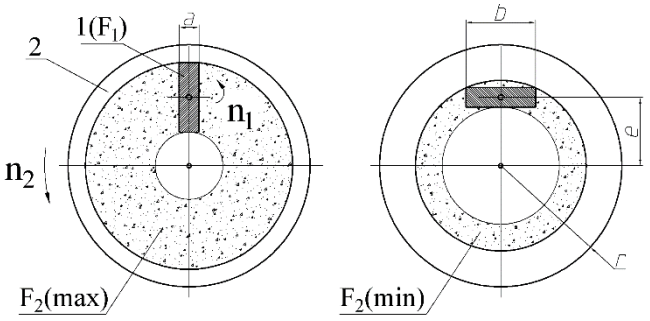


Рисунок 2 - Схема контакту трибоспряження та характер зміни $К_{вп}$
а) $К_{вп}$ - min, б) $К_{вп}$ - max, n_1 – частота обертання зразка 1, n_2 – частота обертання контртіла 2; a, b – розміри зразка 1, e – ексцентриситет, r – радіус контртіла 2.

Як видно із запропонованої схеми $К_{вп} = f(a, b, e, r, \varphi)$ де φ - кут повороту зразка 1. Граничні значення $К_{вп}$ визначаються наступними залежностями

$$Квп_{\min} = \frac{ab}{\pi\left[\left(e+\frac{b}{2}\right)^2 - \left(e-\frac{b}{2}\right)^2\right]}; \qquad Квп_{\max} = \frac{ab}{\pi\left(\frac{b^2}{4}+2ea\right)}.$$

.

Запропонована параметрична модель дослідження перехідних процесів представлена на рис. 3.

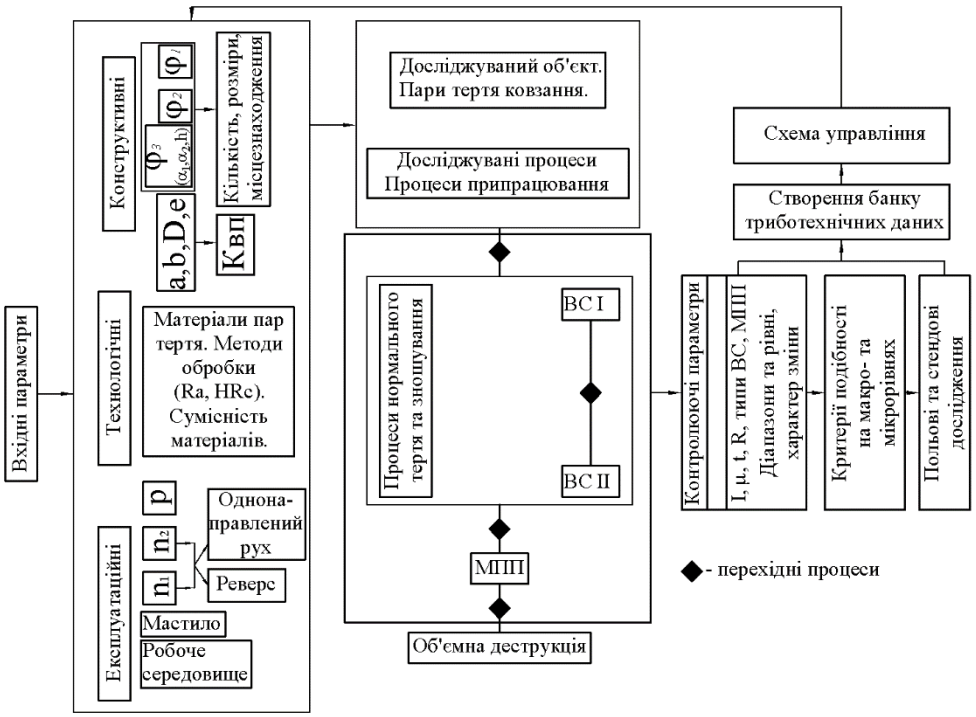


Рисунок 3 - Параметрична модель дослідження перехідних процесів в зоні фрикційного контакту важконавантажених трибоспряжень.

На рисунку 4 представлено узагальнені результати досліджень впливу кінематики руху досліджуваного зразка відносно контртіла на час виходу поверхонь трибоспряження на експлуатаційну шорсткість.

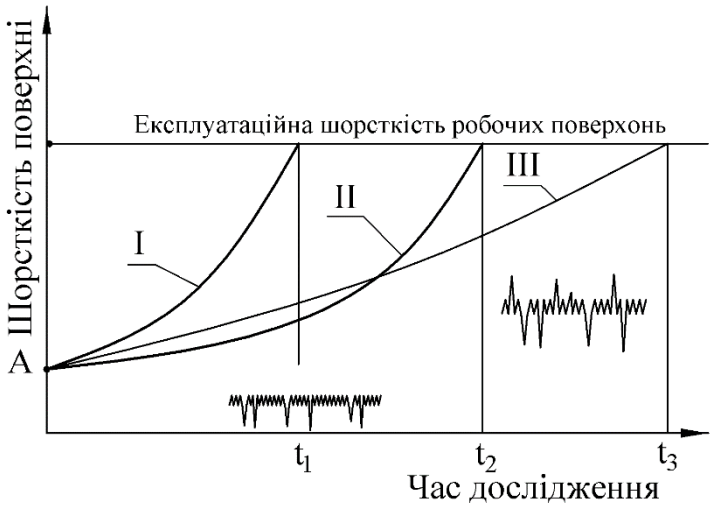
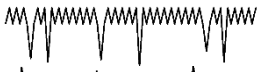
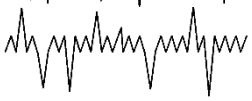


Рисунок 4 - Характери виходу трибоспряження на експлуатаційну шорсткість досліджуваного зразка

I – дослідження на трибометрі з використанням зовнішнього та внутрішнього зубчастих сегментів, II – з використанням тільки зовнішнього зубчастого сегмента, III – дослідження на серійній машині тертя, (А) - вихідне значення шорсткості поверхні досліджуваного зразка

 - плосковершинний (рівновершинний) рельєф поверхні тертя,

 - звичайний рельєф поверхні тертя

Запропоновані ідеї зреалізовані при вирішенні ряду конкретних задач: прискореного припрацювання поверхонь тертя для одержання оптимальної експлуатаційної шорсткості поверхні тертя (рис. 4).

Наведені дані – узагальнені для ряду різних матеріалів трибоспряжень, мастильних середовищ, вихідних значень (А) шорсткості поверхні. Для порівняння дослідження проводились, як на серійних машинах тертя, так і на запропонованому трибометрі. При постійній швидкості ковзання V із зміною параметра навантаження Р суттєво міняється значення величини t_i виходу на задані параметри. Менші значення t_1 і t_2 в порівнянні із t_3 свідчать про інтенсифікацію процесу активації на поверхнях тертя і, відповідно, їх пасивації за рахунок або створення оптимальних вторинних структур (рис. 4)

Аналіз залежностей, приведених на рис. 4, показує, що використання запропонованого трибометра в режимі дослідження (крива I, II) дозволяє формувати робочий профіль поверхні (плосковершинний, рівновершинний).

Список використаних джерел

1. Aulin, V., Gypka, A., Liashuk, O., Stukhlyak, P., & Hrynkiv, A. (2024). A comprehensive method of researching the tribological efficiency of couplings of parts of nodes, systems and aggregates of cars. Problems of Tribology, 29(1/111), 75–83. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-111-1-75-83

2. Gypka A. The tribology of the car: Research methodology and evaluation criteria / O. Lyashuk ,, Y. Pyndus , V. Gupka , M. Sipravska , M. Stashkiv // ICCPT 2019: Current Problems of Transport : Proceedings of the 1st International Scientific Conference , May 28-29, 2019, Ternopil , Ukraine . R. - 231-237. http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3387620

Гупка Андрій Богданович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів факультету інженерії машин, споруд та технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Гевко Іван Богданович – доктор технічних наук, професор, кафедри автомобілів факультету інженерії машин, споруд та технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Лещук Роман Ярославович - кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин факультету інженерії машин, споруд та технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Цьонь Ганна Богданівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин факультету інженерії машин, споруд та технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Остапчук Степан Ігорович - аспірант кафедри автомобілів, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Andrii Bogdanovich Gypka – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobiles, Faculty of Engineering of Machines, Structures and Technologies of Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University

Ivan Bogdanovich Gevko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automobiles, Faculty of Engineering of Machines, Structures and Technologies of Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University

Roman Yaroslavovych Leshchuk - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design of Machine Tools, Instruments and Machines, Faculty of Engineering of Machines, Structures and Technologies of Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University

Hanna Bogdanivna Tson – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Mechanics and Agricultural Machinery, Faculty of Engineering of Machines, Structures and Technologies of Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University

Stepan Igorovich Ostapchuk – Postgraduate student of the Department of Automobiles, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University

УДК 621.87

Т.Р. Дживак

ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ ФОРМУВАННІ ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ НА ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХНЯХ ШАТУННИХ ВКЛАДИШІВ

Проведено аналіз режимів формування канавок мікрорельєфів та аналітичних залежностей для їх визначення. Запропоновано здійснювати визначення питомого зусилля деформування як параметра, що враховує параметри процесу формування канавок мікрорельєфу.

Ключові слова: *регулярний мікрорельєф, канавки, режими формування, деформувальний елемент, плоска поверхня.*

The analysis of the modes of formation of microrelief grooves and analytical dependencies for their determination has been carried out. It is proposed to determine the specific deformation force as a parameter that takes into account the parameters of the process of formation of microrelief grooves.

Keywords*: regular microrelief, grooves, forming modes, deforming element, flat surface.*

Отриманню робочих поверхонь деталей машин з необхідними експлуатаційними властивостями передує ретельний розрахунок та підбір оптимальних режимів оброблення. Такий підбір здійснюється на основі аналізу контактної взаємодії поверхні з інструментом та прогнозування властивостей отриманої в результат цієї взаємодії поверхні. Робочі поверхні шатунних вкладишів двигунів внутрішнього згорання є однією з найбільш відповідальних поверхонь у ДВЗ. Невідповідність експлуатаційних властивостей цієї поверхні є настільки ж критичне як і поверхні гільзи двигуна внутрішнього згорання. Тому правильність призначення режимів оброблення є критичною для забезпечення заданих експлуатаційних властивостей робочих поверхонь вузлів та агрегатів.

Формування регулярного мікрорельєфу на робочих поверхнях деталей машин здійснюється в переважній більшості випадків деформувальним елементом у формі кулі. Така форма деформувального елемента забезпечує рівномірний розподіл зусилля деформування по поверхні контакту. В науковій літературі зустрічається достатньо багато рекомендацій щодо рекомендованого зусилля деформування, яке необхідно прикладати до деформувального елемента, щоб забезпечити певні геометричні параметри канавок мікрорельєфу [1, 2, 3]. Значення цього зусилля коливається в межах від 100 до 600 Н, а оптимальним з точки зору забезпечення мінімальної шорсткості поверхні значення в 400 Н [4]. В дослідженні [5] оптимальним з точки зору забезпечення мінімальної шорсткості є зусилля в 200 Н. Разом з цим значення діаметрів використовуваних при формуванні мікрорельєфів кульок рекомендується вибирати в межах від 3 до 20 мм, однак не вказано які діаметри деформувальних елементів та зусилля деформування слід використовувати, щоб отримати необхідну глибину канавок.

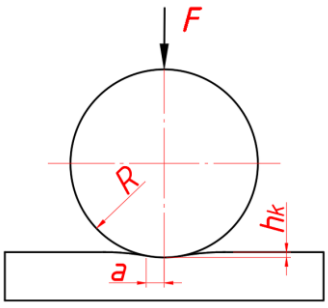


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення зусилля формування канавок мікрорельєфу

Визначити зусилля деформування аналітичним методом можна використавши відомі аналітичні залежності Герца, відповідно до яких зусилля, яке необхідно прикласти до деформувального елемента складає

$$F = \frac{4}{3} E_з R^{\frac{1}{2}} h_k^{\frac{3}{2}}, \qquad (1)$$

де h_k – глибина канавки мікрорельєфу, мм;
R – радіус деформувального елемента, мм;
$E_з$ – зведений модель пружності, МПа.

$$\frac{1}{E_з} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}, \tag{2}$$

де E_1, E_2 – модулі пружності тіл, МПа; ν_1, ν_2 – коефіцієнти Пуассона тіл.

Згідно формули контактної взаємодії Герца видно, що радіус плями контакту між оброблюваною поверхнею та деформувальним елементом суттєво залежить від діаметра останнього (2).

$$a = \left(\frac{3FR}{4E_з}\right)^{1/3}, \tag{3}$$

де F – зусилля, що прикладається до деформувального елемента, Н; R – радіус деформувального елемента, мм;

Таким чином доцільно було б здійснити пошук залежності між шириною канавки, що формується внаслідок проходження деформувального елемента та питомим зусиллям, що прикладається до поверхні ніж від зусилля деформування, яке прикладається до деформувального елемента. Адже приклавши однакове зусилля до деформувальних елементів різних діаметрів отримують різне питоме зусилля, оскільки площа контакту таких деформувальних елементів буде відрізнятись. Тож знаючи параметри мікрорельєфу, який необхідно сформувати та діаметр деформувального елемента можемо визначити необхідне зусилля деформування, яке необхідно прикласти, щоб сформувати канавки із заданими геометричними параметрами.

Згідно з [6] оптимальною з точки зору забезпечення максимальної товщини масляної плівки є глибина канавок мікрорельєфу, яка становить 22-27 мкм для дослідних зразків із регулярним мікрорельєфом II виду з відносною площею канавок $F_в$=45-48% та шорсткістю поверхні R_a=0.25 мкм. При цьому забезпечується товщина масляної плівки між плоскими поверхнями пари тертя від 3 до 4 мкм. При цьому зазначається, що при однакових умовах товщина масляної плівки між дослідними зразками із сформованим мікрорельєфом в 1,5-2 рази більша ніж між зразками, поверхні яких не мають сформованого мікрорельєфу.

Список використаних джерел

1. Dzyura, V.; Maruschak, P.; Bytsa, R.; Zinchenko, I. Partially Regular Microreliefs Formed by Rotation. Constr. Mater. 2025, 5, 2. https://doi.org/10.3390/ constrmater5010002
2. В.О. Дзюра, П.О. Марущак, В.О. Семеген, В.В. Головко, В.Я. Федів. Обґрунтування параметрів регулярних мікрорельєфів сформованих на плоских поверхнях. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.I, с.37-47
3. Dzyura, V., Maruschak, P., Slavov, S., Dimitrov, D., Vasileva, D. Experimental research of partial regular microreliefs formed on rotary body face surfaces. Aviation, 2021, 25(4), 268-277. https://doi.org/10.3846/aviation.2021.15889
4. Pawlus, P., Reizer, R., Wieczorowski, M., (2019). Reverse problem in surface texture analysis-one-process profile modeling on the basis of measured two-process profile after machining or wear. Materials 12(24), 4169. doi:10.3390/ma1224416
5. Dzyura, V., Maruschak, P., Slavov, S., & Dimitrov, D. (2023). Applying regular relief onto conical surfaces of continuously variable transmission to enhance its wear resistance. Transport, 38(3), 178–189. https://doi.org/10.3846/transport.2023.20628
6. Schneider, Y. G. Service Properties of Parts with Regular Microrelief. Accessed: Dec. 23, 2024. [Online]. Available: 375 https://books.ifmo.ru/file/pdf/147.pdf

Дживак Тарас **–** аспірант кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: tdzhyvak@gmail.com

Taras Dzhyvak **–** postgraduate student of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, e-mail: tdzhyvak@gmail.com

УДК 621.87

В.О. Дзюра, П.О. Марущак, Р.О. Бица

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ПЛОЩИННОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ КАНАВОК РЕГУЛЯРНИХ І ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ

Запропоновано новий метод оцінювання канавок регулярного і частково регулярного мікрорельєфу, який дозволяє оцінити їх площинну неоднорідність. Розроблений метод пропонує кількісний показник оцінки розподілу площі канавок на площині. Даний метод є основою оптимізації форми канавок та оптимізації їх відносного розміщення канавок на площині.

Ключові слова: *регулярний мікрорельєф, канавки, відносна площа мікрорельєфу, площинна неоднорідність.*

A new method for evaluating grooves of regular and partially regular microrelief is proposed, which allows assessing their planar heterogeneity. The developed method offers a quantitative indicator for assessing the distribution of the area of grooves on the plane. This method is the basis for optimizing the shape of grooves and optimizing their relative placement of grooves on the plane.

Keywords: *regular microrelief, grooves, relative area of microrelief, planar heterogeneity.*

Забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин є важливою задачею сучасного машинобудування. Якість поверхні робочих поверхонь деталей машин регламентується рядом нормативних документів [1, 2]. З метою забезпечення належної якості цих поверхонь постійно вдосконалюються технології їх оброблення, а також методи забезпечення їх геометричних та фізико-механічних параметрів якості. В інженерії поверхні важливе місце посідає технологія створення періодично повторюваних організованих поверхневих структур, які мають назву регулярні мікрорельєфи. Основою забезпечення стабільних експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей машин по всій її площині є забезпечення періодичності повторювання виступів та западин поверхні, тобто регуляризація поверхні [3-6]. Втрата регулярності канавок мікрорельєфу може бути зумовлена рядом причин. Однією з таких причин є технологічна, яка спостерігається при формуванні канавок мікрорельєфу на верстатах з механічними коробками подач. Внаслідок стохастичності подачі на таких верстатах – випадковості її значень та накопиченої похибки, осьовий крок канавки постійно змінюється на однакову величину. При цьому виникає осьова нерегулярність канавок мікрорельєфу.

Площинна неоднорідність форми канавок мікрорельєфу – параметр, що характеризує рівномірність розподілу площі канавки на площині обмеженій осьовим кроком T_g в осьовому (повздовжньому) напрямі та величиною $2A_g+b_g$ у міжосьовому (поперечному). Площинна неоднорідність визначається графіком розподілу площі канавки в межах осьового кроку T_g для повздовжньої неоднорідності та в межах величини $2A_g+ b_g$ – для поперечної (рис. 1). Площа поверхні під кривою на графіках площинної неоднорідності в осьовому напрямку S_A та у міжосьовому напрямку S_T є однаковими. За цим параметром можна оцінити відносну площу мікрорельєфу – один з основних параметрів, що характеризує експлуатаційні властивості поверхонь із регулярними та частково регулярними мікрорельєфами.

$$F_{RMR} = \frac{S_A}{T_g \times \left(2A_g + b_g\right)}, \tag{1}$$

де F_{RMR} – відносна площа поверхні з регулярним мікрорельєфом, %; S_A – площа поверхні під кривою площинної неоднорідності канавки в осьовому напрямку, мм^2; T_g – осьовий крок канавки, мм; A_g – амплітуда канавки, мм.

Запропоновано графоаналітичний спосіб визначення відносної площі поверхні з регулярним мікрорельєфом. Його суть полягає в тому, щоб визначати площу поверхні, яку займає елемент канавки, як множину паралельних одній з осей канавки відрізків, що перетинають її тіло та мають вирівнювання по осі до якої вони будуть перпендикулярними. Такий спосіб визначення площі складних за формою канавок мікрорельєфу та їх перетинів не потребує виведення складних аналітичних залежностей, є досить простим у застосуванні, особливо з використанням сучасних програм для опрацювання графічної інформації.

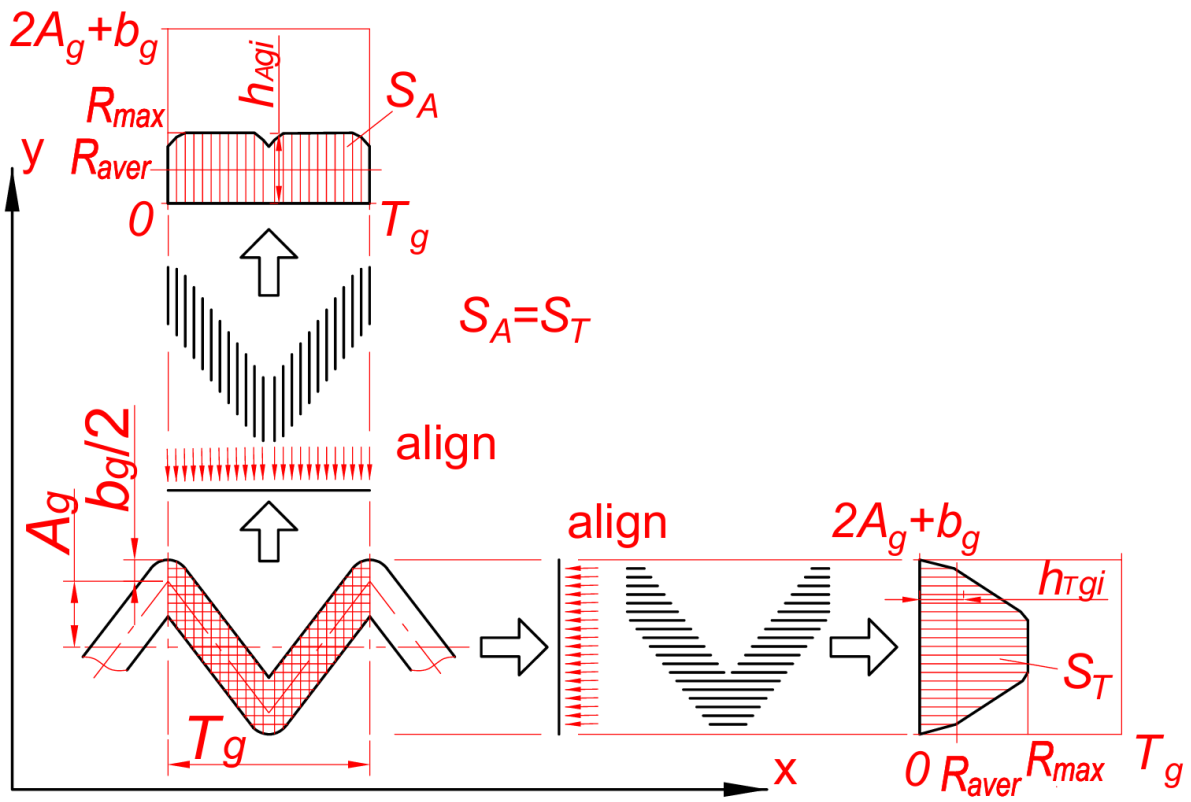


Рисунок 1 – Схема побудови графіків осьової та міжосьової площинної неоднорідності форм канавок мікрорельєфів

Утворену таким чином площу поверхні нескладно визначити за допомогою програмного забезпечення для обробки графічних зображень, наприклад AutoCAD або аналітичним методом. Таким чином цей спосіб усуває необхідність у виведенні складних аналітичних залежностей при визначення площі канавок, які розміщені на площині поверхні для визначення відносної площі мікрорельєфу.

Осьовим вважають напрям вздовж осі канавки, тобто той, що співпадає із віссю *x* системи координат, а міжосьовим – той, що співпадає з віссю *y*. Симетричність графіка площинної неоднорідності канавок мікрорельєфу для трикутної та синусоподібної їх форми в осьовому напрямку відносно осі *b-b* канавки та в міжосьовому напрямку відносно її осі *a-a* вказує на їх регулярність. Крім цього аналіз графіків площинної неоднорідності для трикутної форми канавки дозволяє стверджувати, що розподіл площі канавки S_A вздовж осі *x* є більш рівномірним ніж розподіл площі канавки S_T вздовж осі *y*. При цьому числове значення цих площ окремо досліджуваних канавок завжди однакове, тобто $S_A = S_T$. Однак при побудові графіків площинної неоднорідності форм для кількох суміжних канавок їх площі будуть накладатись і в цьому випадку їх площі не будуть однаковими, тобто $S_A \neq S_T$.

Площинну неоднорідність суміжних канавок в осьовому напрямі визначають на відстані рівній осьовому кроку канавок T_g, а в міжосьовому – міжосьовій відстані S_o на відміну від окремих канавок, де її визначають на відстані $2A_g+b_g$. Це пов'язано з цим, що форма канавок періодично повторюються і якщо міжосьова відстань між канавками буде меншою або рівною $2A_g+b_g$ то суміжні канавки впливатимуть на значення визначеної площі збільшуючи його.

Запропоновано визначати неоднорідність розподілу площі поверхні канавки числовим параметром – коефіцієнтом однорідності k_g, який визначатиметься як відношення максимального значення висоти канавки R_{max} до середнього значення R_{aver}.

$$k_g = \frac{R_{max}}{2 \cdot R_{aver}}. \qquad (2)$$

Значення цього коефіцієнта визначається в осьовому або міжосьовому напрямках. За умови повністю рівномірного розподілу площі канавки значення коефіцієнта становитиме 1. Рівень

наближення до цього значення відображатиме ступінь рівномірності розподілу площі канавки в обраному напрямку.

$$R_{aver} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{h_{gi}}{2}}{n}, \quad (3)$$

де h_{Agi} (h_{Tgi}) – висота і-го відрізка на відповідному графіку площинної неоднорідності, мм (рис.6).

Розрахункові значення висот h_{Agi} визначаються в межах осьового кроку T_g для графіку осьової площинної неоднорідності, а значення висот h_{Tgi} визначаються в межах міжосьового кроку S_o для графіків міжосьової площинної неоднорідності.

Аналіз графіків площинної неоднорідності форм канавок мікрорельєфу дозволив розмістити суміжні канавки мікрорельєфу таким чином, що розподіл їх площі став більш рівномірним, що підтверджується значеннями осьових та міжосьових коефіцієнтів площинної неоднорідності k_g.

При оптимізації розміщення канавок мікрорельєфу можна забезпечити збільшення коефіцієнта площинної неоднорідності в осьовому та міжосьовому напрямі і тим самим забезпечити рівномірніший розподіл площі канавки на площині на якій сформовано мікрорельєф.

Список використаних джерел

1. ISO 21920-2:2022; Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Profile—Part 2: Terms, Definitions and Surface Texture Parameters. ISO: Geneva, Switzerland, 2022. Available online: https://www.iso.org/standard/72226.html (accessed on 16 April 2023). Sensors 2023, 23, 5801 21 of 23.

2. ISO 25178-2:2021; Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Areal—Part 2: Terms, Definitions and Surface Texture Parameters. ISO: Geneva, Switzerland, 2021. Available online: https://www.iso.org/standard/74591.html (accessed on 16 April 2023).

3. Dzyura, V.; Maruschak, P.; Bytsa, R.; Zinchenko, I. Partially Regular Microreliefs Formed by Rotation. Constr. Mater. 2025, 5, 2. https://doi.org/10.3390/ constrmater5010002.

4. S. Mezghani, I. Demirci, H. Zahouani, M. El Mansori. The effect of groove texture patterns on piston-ring pack friction. Precision Engineering. Volume 36, Issue 2. 2012. P. 210-217. https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2011.09.008,

5. Pawlus, P.; Koszela, W.; Reizer, R. Surface Texturing of Cylinder Liners: A Review. Materials 2022, 15, 8629. https://doi.org/ 10.3390/ma15238629

6. Hamdi, Amine. (2020). Effect of cutting variables on bearing area curve parameters (BAC-P) during hard turning process. Archive of Mechanical Engineering. 67. 73-95. 10.24425/ame.2020.131684

Дзюра Володимир Олексійович **–** д.т.н., проф., професор кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: volodymyrdzyura@gmail.com

Марущак Павло Орестович – д.т.н., проф., проректор з наукової роботи, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: vr.science.tntu@gmail.com

Бица Роман Олегович – к.т.н., доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин, Тернопіль, e-mail: romanbytsa@gmail.com

Volodymyr Dzyura O. **–** Dr. (Eng.), Prof., Professor of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, e-mail: volodymyrdzyura@gmail.com

Maruschak Pavlo O. **–** Dr. (Eng.), Prof., vice-rector (science), Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, e-mail: vr.science.tntu@gmail.com

Bytsa Roman O. **–** PhD (Eng.), Associate Professor of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, e-mail: romanbytsa@gmail.com

УДК 629.331.073:355.4

В.О. Єлістратов, О.А. Харьков, О.В. Павленко, К.В. Миленький

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СІДЕЛЬНИХ ТЯГАЧІВ КРАЗ З АВТОМАТИЧНОЮ КОРОБКОЮ ПЕРЕДАЧ В ЗСУ

Вітчизняний виробник автомобільної техніки КрАЗ поставив на озброєння ЗСУ сідельні тягачі КрАЗ-6510ТЕ з автоматичною коробкою передач. До цього часу автомобілі з автоматичною коробкою передач в ЗСУ не експлуатувалися. Експлуатація таких автомобілів має як переваги так і недоліки. Розглянуто способи ефективного відновлення працездатного стану таких сідельних тягачів, які можна організувати безпосередньо на місцях за рахунок організаційних заходів.

***Ключові слова**: сідельний тягач, автоматична коробка передач, експлуатація в збройних силах, втрата працездатності, система відновлення працездатного стану автомобіля.*

The domestic manufacturer of automotive equipment KrAZ has supplied the Armed Forces of Ukraine with KrAZ-6510TE tractor units with automatic transmission. Until now, vehicles with automatic transmission have not been operated in the Armed Forces of Ukraine. The operation of such vehicles has both advantages and disadvantages. Methods for effective restoration of the working condition of such tractor units, which can be organized directly on the ground through organizational measures, are considered.

***Keywords**: tractor unit, automatic transmission, operation in the armed forces, loss of working capacity, vehicle restoration system.*

Вибір типу трансмісії військових транспортних засобів логістичного направлення для забезпечення потреб збройних сил впливає на ефективність їхньої експлуатації безпосередньо в умовах бойових дій та для забезпечення тилових потреб армії.

Використання автоматичних коробок передач (АКПП) на колісній військовій техніці логістичного забезпечення має низку переваг. Однією з них є зменшення навантаження на водія, який керує такою машиною. В бойових обставинах водії часто працюють в умовах стресу, браку сну, що істотно знижує їх концентрацію та увагу. Автоматична трансмісія автомобіля суттєво зменшує фізичне та психологічне навантаження на людину за рахунок спрощення та зменшення кількості операцій керування цією трансмісією. Автомобілями з вказаною трансмісією легше керувати під час руху в колонах, при подоланні пересіченої місцевості, під час евакуації техніки та поранених.

Іншою перевагою є те, що у таких автомобілів краща маневреність у важких дорожніх умовах [1]. АКПП дає можливість швидко реагувати на зміни рельєфу місцевості та навколишньої ситуації (болото, підйоми, руїни). Плавне передавання крутного моменту знижує ризик пробуксовування чи зупинки під навантаженням.

Військові логістичні підрозділи часто комплектуються мобілізованим особовим складом, де не всі солдати мають досвід роботи з багатоступеневими механічними коробками передач вантажних автомобілів або не мають його зовсім [2]. Час на підготовку чи перепідготовку, проведення навчань та інструктажів водіїв для роботи на автомобілях, обладнаних АКПП коротший, ніж для автомобілів, оснащених механічною трансмісією. Солдати в таких ситуаціях, після водіння цивільних автомобілів, легше та швидше адаптуються до керування великовантажними військовими автомобілями саме з АКПП.

Крім того виникає потенційна можливість економії палива. В роботі АКПП попередніх поколінь був суттєвий недолік – їх експлуатація призводила до трохи більшої витрати палива автомобілем. Але сучасні автоматичні коробки переміни передач (особливо гідромеханічні з електронним керуванням чи роботизовані) оптимізують обороти двигуна й іноді економлять паливо порівняно з їх механічними аналогами.

Застосування АКПП призводить до меншого зносу зчеплення та трансмісії [3]. Автоматична коробка захищає від «помилок» водія (наприклад, різкі включення передачі, неправильне зчеплення, тощо). Передача потоку потужності відбувається значно плавніше, що збільшує ресурс трансмісії в умовах інтенсивної експлуатації.

У тяжко навантажених автомобілів і автопоїздів з автоматичною трансмісією вища прохідність. У військових тягачів (наприклад Oshkosh HEMTT, MAN HX, Tatra Force) АКПП забезпечує краще використання крутного моменту для зрушення з місця з важким вантажем (танк, гаубиця, інші військові вантажі) [4]. Швидше виконується відновлення руху транспортних засобів після зупинок.

При русі в колоні чи при супроводі конвою важливо мінімізувати «провали» швидкості. Автомат забезпечує більш рівномірний рух без втрати темпу руху колони.

Проте систему автоматичного керування трансмісією доцільно об'єднати з системами-помічниками водія. Добре було б поєднати в одній системі керування АКПП, роздавальною коробкою та блокуванням диференціалів, що підвищує загальну прохідність автомобіля. АКПП легше інтегрувати з системами керування тягою, протибуксувальною системою, адаптивними режимами руху (наприклад, «пісок», «сніг», «бруд»).

У загальному випадку експлуатація автомобілів з АКПП в збройних силах має певну низку проблем. Загально визнаними є: складність ремонту в польових умовах; чутливість до показників і властивостей мастила та якості обслуговування; вища вартість і більша споряджена маса автомобіля.

Вища вартість агрегату та більша споряджена маса є супутніми ознаками такого рішення. Наприклад механічна коробка переміни передач (ZF 16S 1820 (16-ступенева)) важить 270-320 кг; автоматизована (ZF TraXon 12 TX) важить 340-380 кг; автоматична (Allison 4500 БР / 4800 БР (6-ступенева)) – 420-480 кг. Отже, максимальна різниця ваги агрегату досягає 100 кг.

Показники та властивості мастильних матеріалів і якісне та вчасне виконання технічного обслуговування мають визначальне значення для довготривалої експлуатації автомобілів. Так, до початку війни на озброєння ЗСУ було передано кілька десятків сідельних тягачів. Вже в 2024 році майже всі вони вийшли з ладу. Деяку кількість з цих автомобілів повернули на завод-виробник, плануючи виконати заміну. Під час огляду цієї техніки було виявлено, що більшість АКПП вийшло з ладу через недбальство щодо технічного обслуговування та вчасної заміни мастила. Отже, не було проведено навчань ремонтного складу або вони недбало виконували свої професійні обов'язки, не було забезпечено постачання та своєчасна заміна необхідних фільтрів і відповідних мастильних матеріалів.

Вказані проблеми можна віднести до організаційних недоліків або недбальства існуючої системи технічного обслуговування та ремонту в діючих підрозділах збройних сил. Щоб уникнути виникнення чи повторення проблем вказаного характеру достатньо своєчасно та якісно (наскільки це можливо в умовах діючої армії) виконувати інструкції з організації технічного обслуговування та ремонту автомобільної техніки у військових частинах і подбати про наявність і повне та своєчасне постачання необхідної номенклатури витратних матеріалів для автомобілів, що експлуатуються.

Вести мову про ремонт АКПП в польових умовах немає сенсу взагалі. Така коробка є надто технологічним агрегатом, який потребує наявності спеціально навченого ремонтного персоналу, спеціального інструменту, оснащення та устаткування, наявність комплекту запасних частин і матеріалів, тощо.

З іншого боку, зняття, розбирання та зворотне складання механічної коробки переміни передач автомобілів у тих же польових умовах також видається дуже сумнівним.

Таким чином приходимо до висновку, що в польових умовах ефективним, швидким і реальним виходом у разі виникнення потреби в усуненні відмови коробки передач автомобіля є заміна усього цього агрегату без розбирання за допомогою пересувної автомайстерні, що дозволить швидко відновити мобільність як одиночного автомобіля, так і тягача автопоїзда. Для цього потрібна наявність змінної коробки переміни передач, мобільна автомайстерня, своєчасний і надійний зв'язок з ремонтними підрозділами.

Проблемною ланкою в цьому ланцюгу є наявність змінної коробки переміни передач і взагалі наявність і доступність складів, де вона має зберігається, а також загальна кількість і номенклатура необхідних запасних частин для автомобілів.

Тому, у випадку втрати працездатного стану одиночного автомобіля чи тягача автопоїзда з вини АКПП доцільним вбачається подавання до місця події іншого тягача чи автомобіля, мобільної автомайстерні та евакуаційної машини. Замінюємо транспортний засіб, що вийшов з ладу, і продовжуємо перерване транспортування військової техніки. У транспортного засобу,

який вийшов з ладу та залишився, демонтується карданний вал до роздавальної коробки. Евакуаційна машина буксирує цей транспортний засіб до ремонтної частини.

У випадку, якщо мобільна майстерня буде обладнана на шасі автомобіля КрАЗ, то евакуаційна машина може бути зайвою – така майстерня легко буксируватиме більшість інших колісних транспортних засобів.

Таким чином можна забезпечити швидке виконання операцій логістичного направлення для потреб ЗСУ, створивши ефективні алгоритми усунення несправностей військових автомобілів (тягачів) з АКПП.

Список використаних джерел

1. Кайдалов Р.О., Страшний І.Л., Маренко Г.М., Єлістратов В.О., Шапко В.Ф., Дунь С.В., Гребеник О.М. Порівняльний аналіз конструктивних і техніко-експлуатаційних показників українських броньованих машин. *Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ»*. Луцьк, ЛНТУ, 2020. № 69. С. 45–54.

2. Павленко О.В., Єлістратов В.О., Головенський В.В. Проблеми забезпечення високого рівня технічної готовності військової автомобільної техніки в умовах бойових дій. *Авіація і космонавтика* : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., 18 квітня 2024 р. Кривий Ріг, С. 62.

3. Павленко О.В., Єлістратов В.О., Харьков О.А., Москівець Ю.О. Експлуатація та підтримання технічної готовності автомобільних транспортних засобів в умовах бойового застосування. *Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки* : матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф. 13–14 листопада 2024 р. Вінниця : ВНТУ. С. 400–402.

4. Єлістратов В.О., Миленький К.В., Сидоренко А.В. Проблеми забезпечення технічної готовності військових автотранспортних засобів. *Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства* : матеріали XXXII міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених. 23–24 квітня 2024 р. Кременчук : КрНУ, С. 25. DOI https://doi.org/10.32782/2079-5009.krnu25.1.1.

Єлістратов Вячеслав Олександрович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: yelisslava@gmail.com

Харьков Олександр Андрійович – старший викладач кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: alexkharkov37@gmail.com

Павленко Олександр Володимирович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: alexander6170101@gmail.com

Миленький Кирило Вадимович – студент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: yelisslava@gmail.com

Yelistratov Viacheslav O. – PhD (Tech.), Associate Professor of the Department of automobiles and tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: yelisslava@gmail.com

Kharkov Olexandr A. – Senior Lecturer of the Department of automobiles and tractors Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: alexkharkov37@gmail.com

Pavlenko Oleksandr V. – PhD (Tech.), Associate Professor of the Department of automobiles and tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: alexander6170101@gmail.com

Mylenkiy Kyrylo V. – student of the Department of automobiles and tractors Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: yelisslava@gmail.com

УДК 656.073

М.М. Жук, Є.В. Пруський

ВИКОРИСТАННЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОВАНТАЖНИХ ПОТОКІВ

Розглянуто доцільність застосування методів машинного навчання для сегментації користувачів міської транспортної системи за особливостями купівельної поведінки під час переміщень з метою покупки. Наведено результати кластеризації на основі даних опитувань населення.

Ключові слова: *спосіб переміщення, купівельна поведінка, кластеризація, мікровантажні потоки*

The feasibility of using machine learning methods for segmenting urban transport system users based on purchasing behavior during shopping trips is considered. The results of clustering based on population survey data are presented.

Keywords: *transportation method, purchasing behavior, clustering, micro-freight flows.*

Аналіз споживчої поведінки населення в сучасних мінливих умовах потребує нових підходів. Традиційні статистичні методи, хоча й залишаються актуальними, обмежені в здатності виявляти приховані закономірності та взаємозв'язки між великою кількістю змінних. Застосування сучасних методів машинного навчання дозволяє проводити глибший аналіз багатовимірних даних.

У дослідженні використано інструменти мови програмування Python для обробки та аналізу даних, зібраних шляхом онлайн-опитування населення. В анкету були включені питання щодо соціально-демографічних характеристик респондентів, їх транспортної поведінки, місць і частоти здійснення покупок, а також параметрів останньої покупки (тип товару, спосіб переміщення, розмір покупки тощо). В результаті отримано структурований набір даних із понад 30 ознаками, що дозволяє провести як описовий аналіз, так і побудову моделей.

Методи машинного навчання вимагають чітко структурованого та чисельно представленого набору даних. З огляду на це, основним етапом підготовки даних є побудова ознак — процес, що включає перетворення відповідей респондентів у придатний для аналізу формат та усунення неоднорідностей даних [1]:

- Нормалізація та типізація даних: представлення числових (вік, розмір домогосподарства, середній дохід), категоріальних (стать, тип місцевості, вид діяльності) та множинних категорій (наприклад, декілька способів пересування до магазину), а також бінарних ознак (наявність авто, студентський статус тощо) за єдиним стандартом.
- Кодування ознак: обраний метод кодування безпосередньо впливає на подальші етапи аналізу — кореляцію, тренування моделей, визначення важливості ознак та інтерпретацію результатів.
- Масштабування числових змінних: для забезпечення коректної роботи моделей, які використовують евклідову метрику, числові змінні було стандартизовано за допомогою методу StandardScaler (віднімання середнього значення і поділ на стандартне відхилення). Це дозволяє уникнути ситуацій, коли змінні з великою варіацією (наприклад, дохід) домінують над змінними з меншою дисперсією (наприклад, розмір домогосподарства).
- Формування ознак для моделей: в результаті обробки сформовано повний набір ознак, придатний до використання в алгоритмах кластеризації та класифікації. Кожен запис у таблиці представляє окремого респондента, а кожен стовпець — уніфіковану, закодовану ознаку.

Для виявлення груп населення зі схожою поведінкою під час здійснення покупок використано метод кластеризації. Основна мета — сформувати узагальнені профілі споживачів, які відрізняються за соціально-економічними характеристиками, транспортними вподобаннями, частотою покупок та типом переміщень. Отримані групи дозволяють краще зрозуміти сегментацію попиту, що є особливо важливим для адаптації міської логістики та планування транспортної інфраструктури [2].

Одним із найважливіших рішень при застосуванні алгоритму k-середніх є вибір оптимального значення параметра k, тобто кількості кластерів. В дослідженні було застосовано

два класичних підходи: метод ліктя та коефіцієнт силуету. Проведений аналіз вказав на лікоть при k=4, що стало підставою для подальшого застосування цього значення в моделі кластеризації. В результаті побудови графіка залежності силуета від k (рис. 1) отримане максимальне значення також спостерігається при k=4, що підтверджує вибір кількості кластерів на основі методу ліктя.

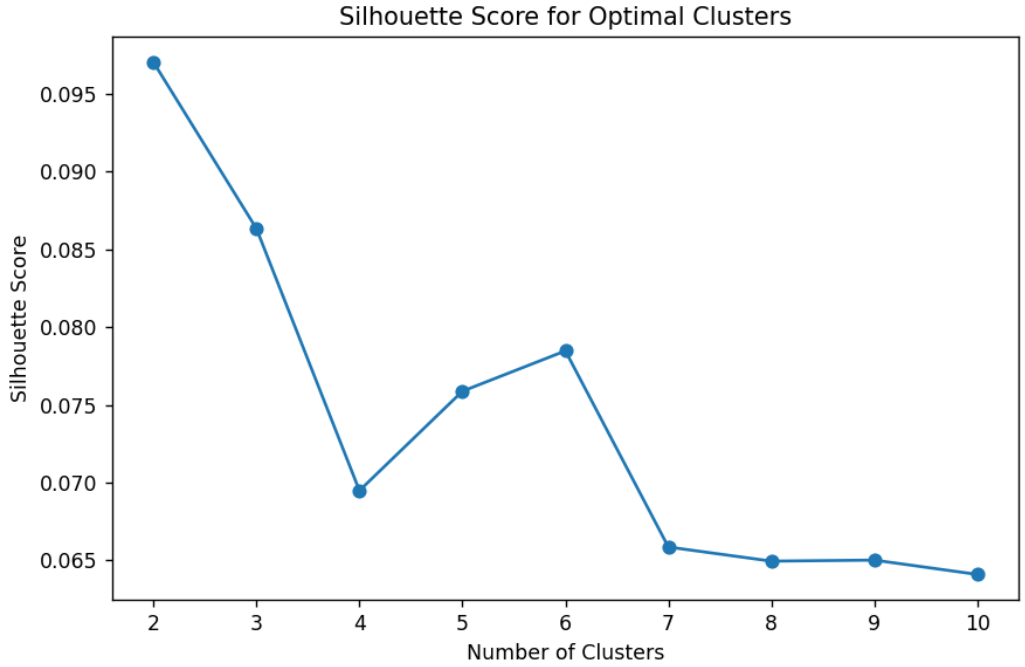


Рисунок 1 – Визначення оптимальної кількості кластерів

До аналізу включено лише числові та бінарні ознаки. Масштабування виконано за допомогою StandardScaler, після чого застосовано алгоритм k-середніх (при k=4). Для інтерпретації результатів центри кластерів було обернено до початкового масштабу, що дозволило визначити середні значення всіх ознак у кожній групі.

В результаті отримано чотири кластери, кожен із яких відображає окремий тип поведінки покупця:

Кластер 0 - молодь, онлайн-активні, мобільні пішоходи:

Цей кластер об'єднує респондентів із найнижчим середнім віком (18 років), які переважно є студентами або учнями. Середній рівень доходу становить 35 500 грн. 81% мають доступ до автомобіля, хоча зазвичай користуються пішими переміщеннями. Характеризуються активною купівельною поведінкою, зокрема високою частотою продовольчих покупок (3.5 бали з 4) та домінуванням онлайн-каналів для замовлень продовольчих і непродовольчих товарів. Спосіб повернення додому після покупок — пішки або громадським транспортом.

Кластер 1 - старші, забезпечені, автомобілеорієнтовані:

Цей кластер репрезентує економічно активну групу з найвищим середнім віком (37 років) та доходом (36 200 грн). 92% респондентів мають доступ до автомобіля, що зумовлює високий рівень автомобілеорієнтованої мобільності. Найбільша частота продовольчих покупок серед усіх кластерів (3.8). Перевага надається фізичним каналам торгівлі, зокрема поїздкам у великі торгові центри. Рівень онлайн-покупок нижчий у порівнянні з іншими кластерами.

Кластер 2 - молодь з менших міст, активні покупці:

Цей кластер характеризується відносно низьким середнім віком (22 роки) і доходом близько 31 800 грн. Більшість респондентів — молоді працівники або студенти. Доступ до автомобіля мають 66%. Кластер вирізняється найвищою частотою непродовольчих покупок (2.9) та найвищою активністю в онлайн-шопінгу (понад 4.9 для непродовольчих товарів). Спосіб повернення додому частіше включає громадський транспорт або поїздки на авто.

Кластер 3 - малозабезпечені, з низькою мобільністю:

Це група респондентів з найнижчим рівнем доходу (приблизно 20 200 грн) і відносно молодим віком (25 років). Лише 4% мають доступ до автомобіля. Рівень онлайн-покупок дещо

нижчий, як і частота непродовольчих покупок. Основний спосіб переміщення — пішки. Профіль свідчить про обмежену мобільність та економічну вразливість цієї групи.

Результати кластерного аналізу дали змогу виділити чотири відмінні групи споживачів, які суттєво відрізняються між собою за віком, доходом, частотою покупок, транспортною поведінкою та каналами придбання товарів. Така сегментація відкриває нові можливості для розуміння урбаністичних процесів, адаптації сервісів та вдосконалення транспортно-логістичних рішень [3].

Отримані кластери не лише мають статистично значущі відмінності, але й логічно інтерпретуються з погляду урбаністичних та логістичних моделей. Застосування PCA та візуалізації показало чітке розділення кластерів у двовимірному просторі, що свідчить про ефективність попередньої обробки ознак та релевантність обраної кількості кластерів (k=4). Крім того, поєднання методів ліктя та силуетного аналізу забезпечило обґрунтованість структурного поділу.

Отримані типи споживачів можуть бути використані при плануванні: транспортної інфраструктури (наприклад, розташування зупинок громадського транспорту, пішохідних переходів); логістичних схем доставки товарів (поштомати, служби кур'єрської доставки); оптимізації торгових форматів (малі магазини у спальних районах проти великих ТЦ у транспортних вузлах). Сегментація також є корисною для локального бізнесу — вона дозволяє краще розуміти потреби окремих груп клієнтів, формувати персоналізовані пропозиції та геотаргетингові стратегії.

Список використаних джерел

1. Dalmaijer, E.S., Nord, C.L. & Astle, D.E. Statistical power for cluster analysis. BMC Bioinformatics 23, 205 (2022). https://doi.org/10.1186/s12859-022-04675-1

2. Mykola Zhuk, Halyna Pivtorak, Anastasiia Markevych. (2024). The impact of socio-demographic indicators on urban shopping trip parameters. Advances in mechanical engineering and transport, V. 2(23), 27-34. https://doi.org/10.36910/automash.v2i23.1522

3. Bjørgen, A., & Ryghaug, M. (2022). Integration of urban freight transport in city planning: Lesson learned. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 107, 103310. https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103310

Жук Микола Миколайович **–** к.т.н. доцент, доцент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Львів, e-mail: mykola.m.zhuk@lpnu.ua

Пруський Євген Володимирович **–** аспірант кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Львів, e-mail: yevhen.v.pruskyi@lpnu.ua

Mykola Zhuk **–** Associate Professor of the Department of Transport Technologies in Lviv Polytechnic National University, Lviv,, e-mail: mykola.b.skyba@lpnu.ua

Yevhen Pruskyi **–** PhD student of the Department of Transport Technologies in Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: yevhen.v.pruskyi@lpnu.ua

УДК 656.073

М.М. Жук, М.Б. Скиба

ОСОБЛИВОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖОПОТОКІВ

Проаналізовано логістичні підходи до формування вантажопотоків у міських середовищах та вибір способів доставки. Наведено результати дослідження сфери споживання мешканців міста Львова. Запропоновано новий споживчоорієнтований підхід до формування вантажопотоків.

***Ключові слова**: спосіб переміщення, критерії вибору, час переміщення, тип і розмір вантажу, види вантажопотоків*

The article analyzes logistic approaches to the formation of freight flows in urban environments and the choice of delivery methods. The results of a study of the consumption sphere of urban residents are presented. A new consumer-oriented approach to the formation of freight flows is proposed.

***Keywords:** method of movement, selection criteria, movement time, type and size of cargo, types of cargo flows*

Урбанізація, зростання рівня автомобілізації, зміна поведінки споживачів унаслідок розповсюдження розумного та зеленого способу доставок, прийняття нової філософії виробництва (приміром, Логістика 4.0) спричинили появу нових механізмів взаємодії в транспортних системах.

Механізми формування вантажопотоків у міському середовищі визначають всю діяльність щодо збору та доставки вантажів, а також включають потоки, що створюється зворотною логістикою, яка відбувається в міських районах [1]. Попит, що спричиняє появу цих потоків, є фрагментарним, оскільки складається з частих замовлень окремих невеликих та середніх вантажів, хоча, з одного боку, діяльність щодо перевезення вантажів забезпечує динаміку розвитку міських територій, з іншого боку – вона значною мірою впливає на навколишнє середовище через негативні зовнішні впливи, приміром збільшення трафіку, перевантаженість міських вулиць, споживання енергії, шумове забруднення, викиди в атмосферу, тощо [2].

Розвиток теоретичних основ логістичних підходів до формування вантажних потоків у транспортних системах міст обумовлений низкою факторів. По–перше, необхідністю розподілу наявного грошового доходу домогосподарств між придбанням різних товарів та послуг, які б уможливили максимізацію задоволення їхніх потреб. По–друге, збільшенням економічної цінності часу кінцевих споживачів, їхнього енергетичного виснаження внаслідок процесу покупок та інших супутніх витрат у цьому процесі. По–третє, важливістю вирішення проблем, пов’язаних з оцінкою вигоди, втрат та ризиків, обумовлених визначенням раціонального рівня запасів, способів доведення вантажопотоків від джерела до кінцевого споживача, обсягу й частоти поставок у каналах розподілу продукції. Дослідження останніх років у сфері розподілу довели, що виробники товарів і сфери розподілу готової продукції, приймаючи логістичні рішення у сфері виробництва й просування вантажопотоків, повинні орієнтуватися на сферу споживання, а такий підхід називають «споживчоорієнтованим».

Проведені дослідження сфери споживання серед мешканців міста Львова дають можливість визначити типи покупок та місця їх виконання, а також пов’язані з ними й інші параметри покупок, зокрема, час та спосіб переміщення за покупкою. Зокрема визначено, що переважаючими способами переміщення з метою покупок, якими користуються мешканці Львова є громадський транспорт та переміщення пішки (по 16% опитаних обрали його як основний вид переміщення і по 16,5% - як регулярний), дещо менше опитаних обрали приватний транспорт (17% - як основний вид переміщення і 11% - як регулярний).

Частота використання транспорту при переміщеннях за покупками суттєво вища при здійсненні покупки у великому торговому центрі чи на ринку: 64,2% (з них 45,3% використовують приватний транспорт) проти 31,3% (з них 12,1% використовують ПТ). Логічним поясненням є менша щільність великих ТЦ та ринків в порівнянні з малими магазинами і, відповідно, менша ймовірність для користувача мати в пішій досяжності таке місце для покупки.

Більше половини опитаних виконують покупки в пообідній час (після 15:00 год). Цей відсоток дещо вищий для покупок у великих торгових центрах чи на ринках: 66% проти 60,6%.[3].

Отримана інформація є важливою при виборі логістичних підходів до формування вантажопотоків у міській транспортній системі та оцінки впливу переміщень з метою покупок на формування пасажиропотоків у містах.

«Споживчоорієнтований» підхід передбачає розроблення нових форм і методів формування логістичних потоків та забезпечення транспортного обслуговування, а також визначення взаємозв'язку між параметрами транспортного обслуговування логістичних систем і показниками роботи транспорту. Характеристики різних типів логістичних потоків залежать від обраного способу транспортування. Оптимізація ланцюжка поставок за допомогою належного управління вантажопотоками дає незліченні переваги. Оптимальне управління вантажопотоком обмежує відходи та запобігає марним витратам. Наслідок: ресурси, що діють на різних етапах ланцюга постачання, використовуються оптимізовано – на етапі постачання, виробництва чи розподілу.

Для уникнення очевидних проблем, що виникають внаслідок зростання обсягів вантажних потоків, у світовій практиці впроваджуються такі заходи: доставка безпілотниками (дронами), використання електромобілів, вантажних велосипедів, доставка міським пасажирським транспортом, «попутна» та піша доставки у межах міста (crowd–shipping), тощо. Окрім цього, використовують спеціальні методи організації транспортних потоків у містах: вікно обслуговування (time window), нічні доставки (night delivery). Це забезпечує зменшення присутності вантажних потоків у мережі, рівномірність їх розподілу протягом доби, зменшення витрат на доставку, а також істотно покращує стан навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. Russo, F. Comi A. A classification of city logistics measures and connected impacts. Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2010. № 2. P. 6355–6365.

2. Fusco, G. Intelligent transport systems (ITS): Past, present and future directions. Nova Science Publisher. New York. 2017. 360 P.

3. M. Zhuk, H. Pivtorak, Y. Pruskyi, M. Skyba, M., Shopping trip modeling considering the impact of martial law – Scientific Letters of the University of Zilina, 2025, 27(2). P.13-26.

Жук Микола Миколайович **–** к.т.н. доцент, доцент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Львів, e-mail: mykola.m.zhuk@lpnu.ua

Скиба*,*Микола Богданович **–** аспірант кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Львів, e-mail: mykola.b.skyba@lpnu.ua

Mykola Zhuk – Associate Professor of the Department of Transport Technologies in Lviv Polytechnic National University, Lviv,, e-mail: mykola.m.zhuk@lpnu.ua

Mykola Skyba – PhD student of the Department of Transport Technologies in Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: mykola.b.skyba@lpnu.ua

УДК 621.317

В.І. Захарчук, В.В. Ярощук

ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ДИЗЕЛІВ У ГАЗОВІ ДВИГУНИ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

Аналіз властивостей газових палив показав, що пропан-бутан має меншу детонаційну стійкість у порівнянні з природним газом. Тому на основі розрахунків робочого циклу двигуна вибрано значення ступеня стиску 11. Стендові випробування двигуна на пропан-бутані показали збільшення еквівалентної витрати палива у порівнянні з роботою на дизельному паливі. Потужність на рівні базового дизеля.

Ключові слова: *газовий двигун, іскрове запалювання, пропан-бутан, базовий дизель*

Analysis of the properties of gaseous fuels has shown that propane-butane has lower detonation resistance compared to natural gas. Therefore, based on calculations of the engine's operating cycle, a compression ratio of 11 was selected. Bench tests of the propane-butane engine showed an increase in equivalent fuel consumption compared to diesel fuel. Power is at the level of the base diesel engine.

Keywords*: gas engine, spark ignition, propane-butane, base diesel*

Відомо, що собівартість продукції значною мірою залежить від витрат на моторне паливо для автотракторної техніки. В якості двигунів на такій техніці використовуються дизелі. У 2025 році ціна дизельного палива є майже вдвічі більшою за ціну скрапленого вуглеводневого газу і це не межа, бо ціна нафти на світовому ринку весь час зростає. Тому пропонується переведення мобільної техніки сільськогосподарських підприємств на моторне паливо з хорошими показниками і яке є дешевше за дизельне паливо. Таким паливом є пропано-бутанові суміші [1].

Ідея переобладнання дизеля у газовий двигун з іскровим запалюванням виникла недавно. Але зараз над цим питанням працюють в багатьох країнах світу. До даного часу не було розроблено цілісної технології переобладнання дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням, здійснювалось переобладнання лише окремих марок двигунів, зокрема в Німеччині, США та Японії. У Луцькому національному технічному університеті розроблено таку технологію. На Всеукраїнському конкурсі інноваційних технологій вона посіла перше місце в одному з пріоритетних напрямків. При її розробці враховувався досвід як закордонних, так і вітчизняних наукових шкіл. Технологія дозволяє отримати прийнятні показники двигуна за помірних затрат на переобладнання. За розробленою технологією можна переобладнати будь-який дизель в газовий двигун, незалежно від кількості та розміщення його циліндрів та інших конструктивних особливостей, від того, турбодизель це чи атмосферний дизель. Таке переобладнання можна здійснювати в умовах невеликих майстерень [2].

Переобладнання включає в себе демонтаж дизельної системи живлення, зменшення ступеня стиску та забезпечення нормального протікання робочого процесу за циклом Отто, тобто встановлення іскрової системи запалювання та додаткового газового обладнання для зберігання і подачі газу в циліндри двигуна, заміна приводу керування регулятором частоти обертання дизеля на привод керування дросельною заслінкою газоповітряного змішувача, перевірка газової системи живлення на герметичність, виконання необхідних регулювань систем живлення та запалювання, які включають регулювання складу газоповітряної суміші та виставлення оптимального установочного кута випередження запалювання, випробування техніки при роботі двигуна на малих обертах холостого ходу та пробігом. При цьому необхідно виконувати вимоги нині діючих нормативно-технічних документів, що регламентують переобладнання техніки для роботи на газі. Наступна експлуатація технічного засобу з газовим двигуном, переобладнаним з дизеля, здійснюється відповідно до рекомендацій інструкції з експлуатації.

Для переобладнання дизелів у газові двигуни застосовується серійне газове обладнання газобалонних автомобілів: газоповітряні змішувачі, газові редуктори низького тиску, газові редуктори високого тиску, електромагнітні клапани, газові балони з вентилями та трубопроводами. Характеристики газоповітряного змішувача і газового редуктора низького тиску (перш за все, діаметри дозувальних отворів дозуючо-економайзерного пристрою) мають бути узгоджені з витратними характеристиками двигуна.

Газовий двигун може обладнуватись звичайною електронною системою запалювання з високовольтним розподільником. Для кожної марки двигуна необхідно визначати і встановлювати оптимальний установочний кут випередження запалювання.

Технологія охоплює переобладнання як нових дизелів, так і тих, які були в експлуатації. Стосовно нових дизелів, то для здешевлення їх переобладнання пропонується їх поставка на автоскладальне виробництво без дизельної паливної апаратури і встановлення безпосередньо на заводі газової апаратури і системи запалювання. Що стосується дизелів, які були в експлуатації, то особливо виправданою є конвертація в газові двигуни дизелів у разі необхідності ремонту їх циліндро-поршневої групи або паливної апаратури. В цьому випадку витрати на переобладнання дизеля частково компенсуються за рахунок засобів, які все одно необхідно затрачувати на ремонт.

З виконаного аналізу термічного ККД і середнього тиску циклу Отто зроблено висновок, що в даному циклі доцільно здійснювати робочий процес реального двигуна із ступенями стиску, що не перевищують ε=11. На першому етапі досліджень розроблена математична модель і програма розрахунку на комп`ютері робочого циклу газового двигуна, яка дозволила визначити його потужносні та економічні показники і отримати оптимальні значення параметрів конструкції та робочого циклу двигуна.

За розробленою технологією в лабораторії автомобільних двигунів ЛНТУ переобладнано дизель Д-240 в газовий двигун. На переобладнаному двигуні замість форсунок встановлено іскрові свічки запалювання фірми BRISK, привод паливного насоса високого тиску переобладнано для кріплення переривача-розподілювача, встановлено безконтактне електронне запалювання з датчиком Хола в переривачі-розподільнику.

На впускному колекторі нової конструкції встановлено газовий змішувач СГ-250, а також газові редуктори високого і низького тиску та інше газове обладнання. Ступінь стиску газового двигуна зменшено з 16 до 11 одиниць. Тобто дизель конвертували в двигун з іскровим запалюванням і зовнішнім сумішоутворенням. Експериментальні випробування конвертованого газового двигуна включали моторні дослідження на електричному гальмівному стенді КИ-4893 ГОСНИТИ. Газовий двигун стійко працював на всіх режимах. Була отримана серія навантажувальних характеристик при різних частотах обертання та регулювальні характеристики за складом суміші та за кутом випередження запалювання. Газовий двигун розвиває потужність таку ж, як і дизель Д-240. Питома ефективна витрата палива на 10,2% більша, ніж у дизеля, оскільки газовий двигун працює на більш багатих сумішах. Рівень викидів оксиду вуглецю CO і вуглеводнів C_mH_n у газового двигуна менший і відсутня сажа у відпрацьованих газах. Шум при роботі газового двигуна значно менший, ніж дизеля.

Переведення навіть частини автотракторної техніки на живлення природним газом дасть значний економічний ефект у масштабах держави. При переході на газ затрати на паливо-мастильні матеріали зменшуються приблизно у два рази. Зменшуються затрати на поточний ремонт, оскільки відпадає необхідність міняти розпилювачі форсунок та плунжерні пари, які досить часто виходять з ладу. Термін окупності інвестицій на переобладнання складає від 7 до 10 місяців. Вартість переобладнання трактора у газобалонний перебуває в межах 1000 у.о., але надалі власник такого трактора буде економити значні кошти за рахунок використання більш дешевого палива. Не менший економічний ефект буде і від переобладнання автомобіля з дизелем у газобалонний. Крім того має місце також екологічний ефект від зменшення забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами двигунів.

Список використаних джерел

1. G.T. Chala, A.R.A. Aziz, F.Y. Hagos Natural gas engine technologies: Challenges and energy sustainability issue/ Energies, 19961073, 11 (2018), 10.3390/en11112934 View at publisherGoogle Scholar

2. Zakharchuk, V., Zakharchuk, O., Tolstushko, M., Tolstushko, N. (2024). Improving performance of wheeled tractor with gas engine as part of transport machine unit. Engineering For Rural Development, Vol. 23, 488-494. http://dx.doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF091.

Захарчук Віктор Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій факультету транспорту та механічної інженерії Луцького національного технічного університету

Ярощук Віктор Віталійович – аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій факультету транспорту та механічної інженерії Луцького національного технічного університету

Viktor Zakharchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Cars and Transport Technologies of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering of Lutsk National Technical University

Viktor Yaroshchuk – Postgraduate Student of the Department of Cars and Transport Technologies of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering of Lutsk National Technical University

УДК 004.8:629.33

А.Я. Здобицький, А.В. Головенко

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ПРОТЕКТОРА ШИН НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

У статті представлено результати дослідження застосування методів машинного навчання для автоматизованої діагностики зносу протектора автомобільних шин. Розроблено архітектуру інтелектуальної системи на основі згорткових нейронних мереж (CNN), що реалізує повний цикл оброблення зображень. Проведено експериментальні дослідження, які підтвердили високу точність класифікації. Отримані результати демонструють потенціал інтеграції таких систем у транспортні діагностичні та телематичні комплекси для підвищення безпеки дорожнього руху.

Ключові слова: *машинне навчання, глибоке навчання, комп'ютерний зір, нейронні мережі, діагностика, протектор шин, безпека руху.*

The paper presents the application of machine learning methods for automated diagnosis of tire tread wear. An intelligent system architecture based on convolutional neural networks (CNN) is proposed, implementing a full image-processing pipeline. Experimental results confirmed high classification accuracy, proving the feasibility of integrating such systems into diagnostic and telematics platforms to enhance vehicle safety.

Keywords: *machine learning, deep learning, computer vision, neural networks, diagnostics, tire tread, road safety.*

Сучасний розвиток транспортних технологій потребує впровадження інтелектуальних систем контролю технічного стану транспортних засобів. Стан шин є критичним чинником безпеки дорожнього руху: зношення протектора знижує коефіцієнт зчеплення з дорогою, збільшує гальмівний шлях та ризик занесення. Тому автоматизована система діагностики шин із використанням методів машинного навчання є актуальним напрямом досліджень.

Постановка проблеми

Традиційні методи діагностики базуються на візуальному контролі або механічному вимірюванні глибини канавок. Вони залежать від людського фактора та умов зйомки, не забезпечують стабільності й не підходять для швидкого дистанційного моніторингу. Використання алгоритмів комп'ютерного зору та згорткових нейронних мереж (CNN) дозволяє усунути ці недоліки, забезпечуючи об'єктивну оцінку стану шин у реальному часі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Goodfellow, Bengio та Courville [1] узагальнили принципи глибокого навчання, LeCun і співавт. [2] запропонували CNN для аналізу зображень, а Selvaraju та ін. [3] розробили Grad-CAM для візуального пояснення результатів класифікації. У роботах Kim і Lee [4] розглянуто застосування CNN до моніторингу зносу шин, а Pashkevych і Drobot [5] довели ефективність інтелектуальних транспортних діагностичних систем.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є створення інтелектуальної системи діагностики зносу протектора шин на основі глибоких нейронних мереж.

Основні завдання:

1. Розробити архітектуру системи, що включає всі етапи аналізу зображень шин.
2. Підготувати збалансовану навчальну вибірку з класами «норма» та «зношена».
3. Провести експерименти й оцінити ефективність моделі.
4. Візуалізувати процес класифікації для підвищення інтерпретованості результатів.

Методи та матеріали дослідження

Для реалізації системи використано архітектуру MobileNetV2, оптимізовану для мобільних пристроїв. Навчальна вибірка містила 2100 зображень шин, рівномірно розподілених між класами *«норма»* і *«зношена»*. Приклади фрагментів із навчальної вибірки подано на рисунку 1.



Рисунок 1 – Приклади зображень шин із навчальної вибірки
1. – зношений край протектора, 2. – зношений боковий протектор, 3. – центральне зношення протектора, 4. – хвилеподібне (чашоподібне) зношення протектора, 5. – локальне стирання протектора (плоска ділянка).

Попередня обробка передбачала масштабування, нормалізацію освітлення, фільтрацію шумів і підвищення контрасту.

Функція визначення втрат моделі:

$$L = \frac{1}{N}\left[y_i \, log(p_i) + (1 - y_i) log(1 - p_i)\right], \quad (1)$$

де L – функція втрат; N – кількість зразків; y_i – справжня мітка класу; p_i – прогнозована ймовірність.

Архітектура інтелектуальної системи

Запропонована архітектура системи (рис. 2) реалізує послідовність етапів Input Image → Preprocessing → Feature Extraction (CNN) → Classification → Output, що забезпечує повний цикл діагностики.

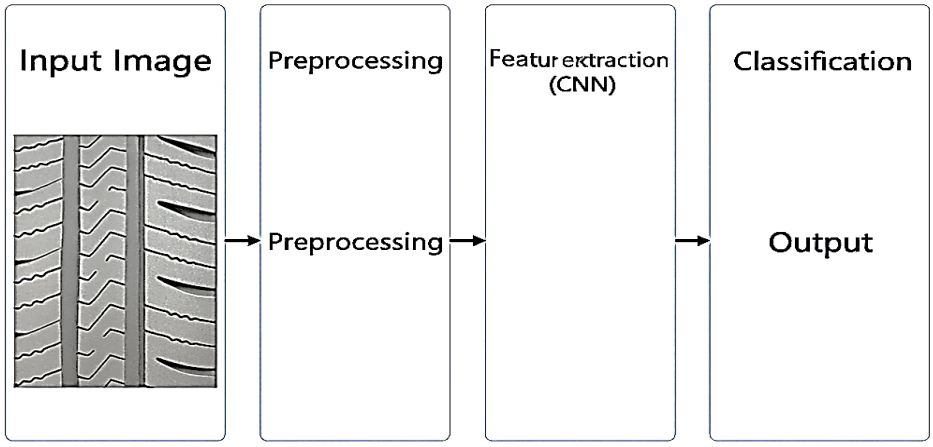


Рисунок 2 – Узагальнена архітектура інтелектуальної системи виявлення зносу протектора шин

На початковому етапі Input Image система приймає вхідне фото протектора шини (мінімум 1024×768 px). Перед обробкою здійснюється автоматична перевірка якості знімка (різкість, контраст, наявність зони інтересу ROI).

На етапі Preprocessing виконується геометрична та фотометрична нормалізація: вирівнювання перспективи, масштабування до 224×224 px, подавлення шумів і балансування яскравості. На етапі навчання додаються аугментації (обертання, масштабування, зміна освітлення) для підвищення стійкості моделі.

Етап Feature Extraction (CNN)**.** Основу становить MobileNetV2, яка містить послідовність інверсних резидуальних блоків із глибинними свёртками та лінійними «bottleneck». Мережа

автоматично виділяє характерні ознаки текстури протектора – канавки, гладкі зони, краї та локальні дефекти.

Для навчання моделі застосовано оптимізатор Adam зі швидкістю навчання 1×10^{-4}, коефіцієнтом Dropout 0,4 та параметром Label Smoothing 0,05, що забезпечило стабільну збіжність і зменшення ризику перенавчання.

На етапі Classification. Вихід CNN подається на повнозв'язну мережу з двома шарями та Softmax для обчислення ймовірностей належності до класів:

$$p(y = c \mid x) = \frac{e^{z_c}}{\sum_k e^{z_k}}, c \in \{\text{норма}, \text{зношена}\}. \quad (2)$$

Порогове значення визначається за ROC-аналізом (0,5 або оптимальне значення).

На етапі Output and Post-Processing. Формується звіт із ймовірністю класифікації, оцінкою достовірності (ентропією H(p)) та тепловою картою Grad-CAM для візуалізації зон зносу.

За досягнення невисокої ймовірності класифікації (< порогового значення) система формує запит на повторне зображення для верифікації результату.

Заключним етапом є Інженерна оптимізація. Модель квантується до INT8 (розмір ≈ 5 МБ, зниження точності < 0,5 %), що дозволяє реалізувати її на мобільних пристроях або в бортових комп'ютерах автомобіля. Середній час аналізу – ≈ 35 мс на зображення.

Результати досліджень

Модель навчалася протягом 50 епох на збалансованій вибірці зображень шин із класами «норма» та «зношена». Під час навчання відстежувались метрики точності (Accuracy), повноти (Recall), F1-score та значення функції втрат.

Для порівняння ефективності було протестовано п'ять архітектур глибоких моделей: MobileNetV2, ResNet-50, VGG-16, EfficientNet-B0 та ViT-B/16.

Таблиця 1 – Порівняльна ефективність моделей класифікації зносу шин

Архітектура моделі	Точність, %	Повнота, %	F1-score	Параметри, млн	Нотатки
MobileNetV2	94,2	92,8	0,93	3,4	Оптимальна для мобільних пристроїв
ResNet-50	91,7	90,3	0,91	25,6	Висока стабільність
VGG-16	89,6	88,1	0,88	138	Ресурсомістка
EfficientNet-B0	93,5	91,4	0,92	5,3	Найкраще співвідношення точності/ресурсів
ViT-B/16	95,0	93,2	0,94	86	Потребує великого масиву даних

Візуалізація результатів класифікації

Для пояснення рішень моделі використано метод Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping), який дозволяє візуалізувати просторовий розподіл активацій згорткових шарів нейронної мережі. Цей підхід забезпечує інтерпретованість результатів класифікації, дозволяючи визначити ділянки зображення, що найбільше вплинули на прийняте рішення.

На рисунку 3 наведено приклад роботи моделі: зліва подано вхідне зображення протектора шини, справа – теплова карта Grad-CAM, де червоні області відповідають зонам найбільшого зносу.

Візуалізація демонструє, що модель концентрує увагу саме на функціонально важливих ділянках протектора — центральних канавках, кромках і локальних западинах, що підтверджує її здатність до семантичного аналізу зображення. Виявлено статистично значущу кореляцію між прогнозованою та реальною глибиною протектора на рівні r = 0,87, що підтверджує достовірність і адекватність побудованої моделі.

Отримані результати свідчать, що застосування Grad-CAM не лише підвищує довіру до роботи моделі, але й може бути використане як інструмент технічного контролю якості класифікації. Такий підхід створює основу для розроблення мобільних і вбудованих систем моніторингу стану шин, здатних у режимі реального часу оцінювати ступінь зносу, формувати звіти про стан коліс і попереджати користувача про необхідність технічного обслуговування.

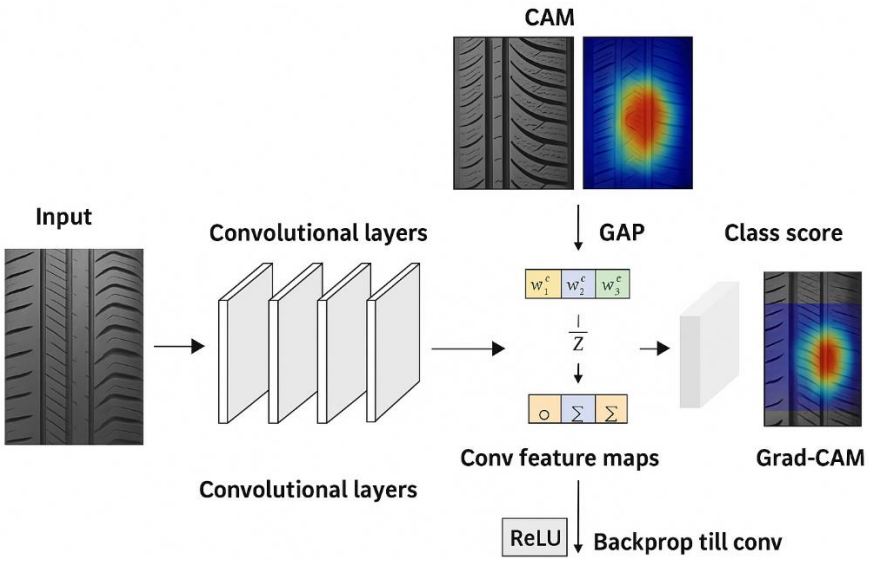


Рисунок 3 – Візуалізація результатів роботи моделі CNN (Grad-CAM)

Висновки

1. Розроблено інтелектуальну систему на основі CNN, яка забезпечує точність ідентифікації зносу шин 94 %.
2. Архітектура MobileNetV2 є ефективною для вбудованих та мобільних рішень.
3. Grad-CAM підвищує пояснюваність рішень та дозволяє візуалізувати зони підвищеного зносу.
4. Подальші дослідження спрямовані на створення прогнозної моделі залишкового ресурсу шин та інтеграцію системи у телематичні комплекси транспорту.

Список використаних джерел

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016.
2. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient-based learning applied to document recognition. – Proceedings of the IEEE, 1998.
3. Selvaraju R.R. et al. Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization. – ICCV, 2017.
4. Kim D., Lee S. Tire wear monitoring system using image processing and machine learning. – Sensors, 2022.
5. Pashkevych M., Drobot O. Intelligent transportation diagnostics using computer vision. – Journal of Transport Technologies, 2021.
6. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. – CVPR, 2016.
7. Sandler M., Howard A., Zhu M., Zhmoginov A., Chen L.C. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. – CVPR, 2018.

Здобицький Андрій Ярославович – к. т. н., доцент, доцент кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, e-mail: andrii.zdobytskyi@ldubgd.edu.ua

Головенко Андріана Василівна – здобувачка освіти Навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, e-mail: andrianaholovenko@gmail.com

Zdobytskyi Andrii Y. – PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: andrii.zdobytskyi@lpnu.ua

Holovenko Andriana V. – Student of the Educational and Scientific Institute of Fire and Technogenic Safety, Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine. e-mail: andrianaholovenko@gmail.com

УДК 621.87

І.Б. Зінченко

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ДЕФОРМУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ РОТАЦІЙНОГО ВИДУ НА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНЯХ

Праведно аналіз руху деформувальних елементів інструменту для формування частково регулярних мікрорельєфів ротаційного виду на плоских поверхнях. Здійснено моделювання траєкторії деформувальних елементів в середовищі MathCAD в залежності від частоти обертання інструменту, його подачі та кількості деформувальних елементів.

Ключові слова: *регулярний мікрорельєф, канавки, режими формування, деформувальний елемент, плоска поверхня.*

The analysis of the movement of the deforming elements of the tool for the formation of partially regular microreliefs of rotational type on flat surfaces is carried out. The trajectory of the deforming elements is simulated in the MathCAD environment depending on the tool rotation frequency, its feed and the number of deforming elements.

Keywords*: regular microrelief, grooves, forming modes, deforming element, flat surface.*

Робочі поверхні відповідальних вузлів та агрегатів засобів транспорту потребують постійного покращення та вдосконалення їх експлуатаційних властивостей. Для цього здійснюють заходи із дослідження технологій, що забезпечуватимуть покращення геометричних та фізико-механічних параметрів поверхонь пар тертя. Одним із напрямів такого покращення є створення на поверхні сітки мікроканалів, у яких акумулюватиметься мастило, що забезпечуватиме гарантований масляний клин в умовах високих навантажень та питомих тисків, що притаманні важким умовам експлуатації.

Проведений аналіз літературних джерел дає підставу стверджувати, що форма канавки мікрорельєфу не чинить суттєвого впливу на експлуатаційні властивості поверхонь пари тертя. Натомість для площинних мікрорельєфів визначальним є відносна площа мікрорельєфу – виражене у відсотках відношення площі канавок мікрорельєфу до площі поверхні на якій вони сформовані. Таким чином, важливим з точки зору забезпечення експлуатаційних властивостей, є питома площа канавок на одиницю площі поверхні пари тертя. Тому для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей поверхні з сформованим мікрорельєфом потрібно сформувати на цій поверхні канавки, які займатимуть певну площу та будуть з певним допуском рівномірно розміщені на цій поверхні. Аналогічні мікрорельєфи можна створювати на плоских поверхнях. Виходячи з точки зору технологічності канавки, найбільш простим рішенням для плоскої поверхні було б виготовлення канавок прямолінійної форми [1]. Однак така форма не забезпечує однорідність фізико-механічних і, відповідно, експлуатаційних властивостей у різних напрямах поверхні.

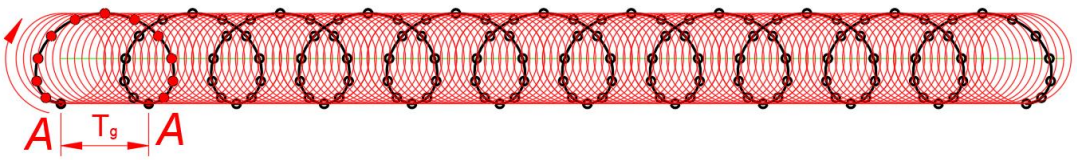


Рисунок 1 – Траєкторія руху деформувального елемента інструменту при обертання його навколо власної осі

Розроблення інструменту для формування такого мікрорельєфу є непростим технічним завданням, особливо коли до нього ставляться вимоги щодо універсальності діаметрів використовуваних деформувальних елементів. Вплив діаметра деформувального елемента на відносну площу створюваного мікрорельєфу є досить суттєвим [2, 3].

Для визначення координат руху деформувального елемента використано залежності

$$\begin{cases} x_1 = R_g \cdot \sin(\alpha) + \dfrac{T_g \cdot \alpha}{2\pi} \\ y_1 = R_g \cdot \cos(\alpha) \end{cases}, \quad (1)$$

де T_g – крок канавок мікрорельєфу, мм; α – кут повороту інструменту навколо власної осі, рад; R_g – відстань від центра деформувальних елементів до осі обертання інструменту, мм.

Слід враховувати, що крок T_g можна визначити із режимів оброблення за залежністю

$$T_g = \frac{f_g}{n_g}, \quad (2)$$

де f_g – подача інструменту, мм/об; n_g – частота обертання інструменту, с$^{-1}$.

Якщо деформувальних елементів в інструменті буде два, з опозитним їх розміщенням, то координати другого деформувального елемента визначатимуться із залежності:

$$\begin{cases} x_1 = -R_g \cdot \sin(\alpha) + \dfrac{T_g \cdot \alpha}{2\pi} \\ y_1 = R_g \cdot \cos(\pi - \alpha) \end{cases}. \quad (3)$$

За залежностями (1), (3) побудовано траєкторії рух деформувальних елементів при здійснені одного оберту інструменту (рис. 2) при подачі інструменту f_g.

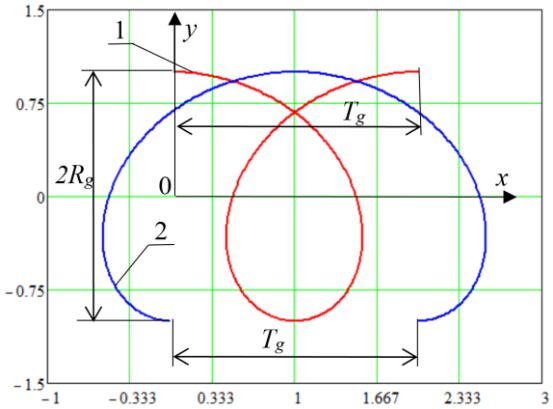


Рисунок 2 – Траєкторія руху деформувальних елементів при формуванні частково регулярних мікрорельєфів ротаційного виду на плоских поверхнях
1 – деформувальний елемент 1; 2 – деформувальний елемент 2

Як видно з рис. 2 траєкторії руху деформувальних елементів 1 та 2 мають однаковий крок T_g та відстань до центра обертання R_g. Незважаючи на те, що при першому оберті інструменту траєкторії деформувальних елементів описують різні фігури, розміщення деформувальних елементів є опозитним відносно центру обертання який здійснює поступальний рух вздовж осі x, тобто між ними завжди зберігається відстань $2R_g$.

Таким чином проведено моделювання руху деформувальних елементів при формуванні частково регулярних мікрорельєфів ротаційного виду на плоских поверхнях.

Список використаних джерел

1. Dzyura, V.; Maruschak, P.; Bytsa, R.; Zinchenko, I. Partially Regular Microreliefs Formed by Rotation. Constr. Mater. 2025, 5, 2. https://doi.org/10.3390/ constrmater5010002

2. В.О. Дзюра, П.О. Марущак, В.О. Семеген, В.В. Головко, В.Я. Федів. Обґрунтування параметрів регулярних мікрорельєфів сформованих на плоских поверхнях. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.І, с.37-47

3. Dzyura, V., Maruschak, P., Slavov, S., Dimitrov, D., Vasileva, D. Experimental research of partial regular microreliefs formed on rotary body face surfaces. Aviation, 2021, 25(4), 268-277. https://doi.org/10.3846/aviation.2021.15889

Зінченко Ігор **–** аспірант кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: zinchenko-i@ukr.net

IhorZinchenko **–** postgraduate student of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, e-mail: zinchenko-i@ukr.net

УДК 621.65

Р.М. Ігнатюк, О.С. Стадник, В.Л. Пахаренко

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМОБІЛЯ

У даній роботі розглянуто сучасні методи напилення деталей автомобіля. Здійснений розгорнутий аналіз переваг і недоліків кожного з методів. Наведені принципи формування високоміцного поверхневого шару деталі після проведення термічної. Зображені схеми напилення усіма методами, та наведена порівняльна таблиця основних характеристик даних методів, яка дозволила виконати грунтовні висновки найбільш техноголічно-прийнятного методу.

Ключові слова: *методи термічного напилення, лазерне напилення, плазмове напилення, газополуменеве напилення, детонаційне напилення*

In this work, modern methods of automotive part coating are examined. A detailed analysis of the advantages and disadvantages of each method has been carried out. The principles of forming a high-strength surface layer of a part after thermal treatment are presented. Diagrams illustrating all coating methods are provided, along with a comparative table of their main characteristics, which made it possible to draw comprehensive conclusions regarding the most technologically suitable method.

Keywords: *thermal spraying methods, laser spraying, plasma spraying, gas-flame spraying, detonation spraying.*

Термічне напилення, це один з методів металізації, який передбачає проектування невеликих розплавлених або розм'якшених частинок на підготовлену поверхню, де вони прилипають та утворюють суцільне покриття. Усі методи термічного напилення передбачають розпилення дрібних розплавлених або розм’якшених частинок на підготовлену поверхню, де вони адгезують і формують суцільне покриття. Для утворення розплавлених частинок потрібне джерело тепла (для розплавлення або розм’якшення матеріалу), матеріал для напилення та метод атомізації або проекції (спосіб розпилення частинок на поверхню).

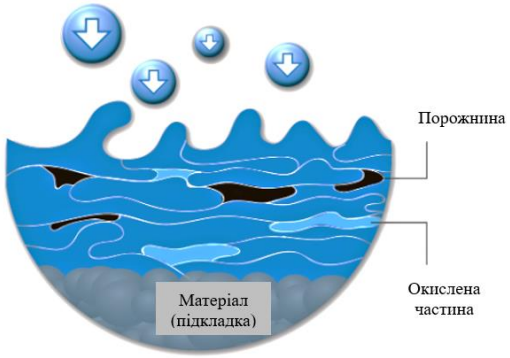


Рис. 1. Термічне напилення металу

Після контакту з поверхнею частинки розплющуються, охолоджуються та механічно зв’язуються: спочатку з шорсткою підкладкою, а потім одна з одною по мірі наростання товщини покриття. Обладнання для металевого термічного напилення умовно класифікують на наступні типи: газополуменеве напилення, електродугове напилення, плазмове напилення, вискошвидкісне газополуменеве напилення, детонаційне напилення та лазерне напилення.

Газополуменевий метод напилення покриттів передбачає формування на поверхні шару частинок матеріалу, які отримали достатню теплову та кінетичну енергію в результаті взаємодії з газополуменевим струменем (рис. 2). Газове полум’я утворюється шляхом згоряння горючих газів у кисні або повітрі. У спеціальних пальниках (розпилювачах) по периферії сопла подається горюча суміш, тоді як центральна частина використовується для подачі розпилюваного матеріалу у сформований газополуменевий струмінь [1].

Два дроти, які подаються в пістолет мають позитивний і негативний заряд. Дроти змикаються, утворюючи електричну дугу, яка їх розплавляє. Стиснене повітря, проходячи через сопло, розпилює розплавлений метал і наносить його на деталь (рис. 3). Існують три способи подачі дроту: push (виштовхування), pull (витягування) та push/pull (комбінований). Чим більший номінальний струм системи, наприклад 350 А, 700 А і більше, тим вищий швидкість напилення. Плазма – це газ, який нагрітий до такої високої температури, що іонізується та стає електропровідним. У процесі плазмового напилення плазма утворюється шляхом виникнення електричної дуги між соплом і електродом всередині плазмового пістолета (рис. 4). Потік плазми виходить із сопла, а порошкові частинки подаються в цей потік, де вони розм'якшуються і ударяються об поверхню з великою швидкістю, утворюючи міцне покриття. При цьому деталь залишається відносно холодною, оскільки плазма локалізується лише в зоні пістолета.

Вискошвидкісне газополуменеве (HVOF) напилення з рідким паливом (керосином) одне з найефективніших способів отримати надщільні, зносостійкі покриття з карбідів або металів (рис. 5.) Паливо (рідкий гас у нашій системі) змішується з киснем і запалюється. Газоподібні продукти згоряння проходять через сопло (сопло Лаваля) і прискорюються приблизно до 1500 м/с. Порошок подається у прискорене полум'я, де він розм'якшується і набирає швидкість. Висока швидкість удару частинок об поверхню створює щільне покриття з високою адгезією. Температура полум'я 2500-3000 °C, швидкість частинок 500–1500 м/с, тип палива: пропан, пропілен, водень або рідкий гас, щільне покриття, з високою адгезією, низькою пористістю (<1%).

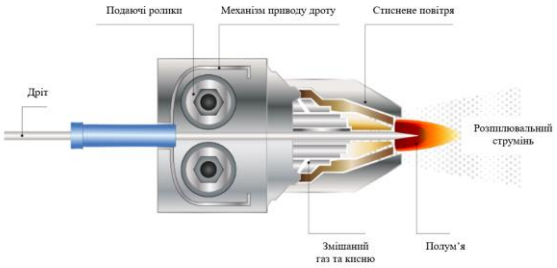


Рис. 2. Газополуменеве напилення

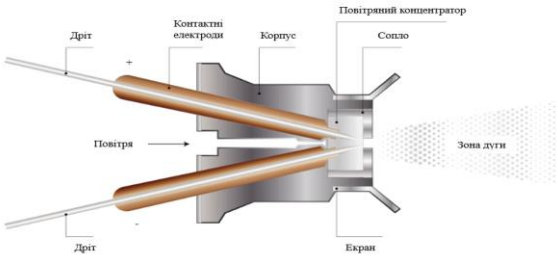


Рис. 3. Електродугове напилення

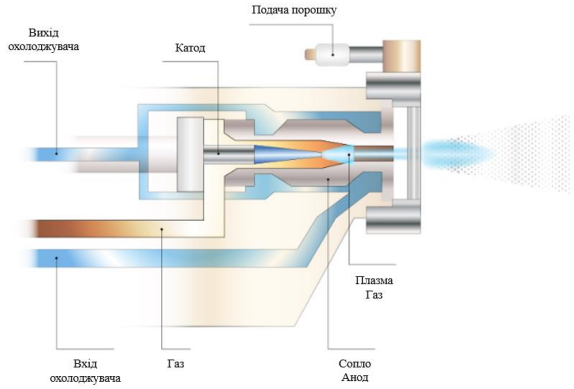


Рис. 4. Плазмове напилення

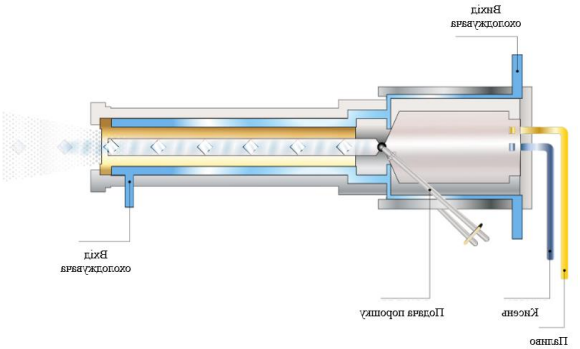


Рис. 5. Вискошвидкісне газополуменеве напилення

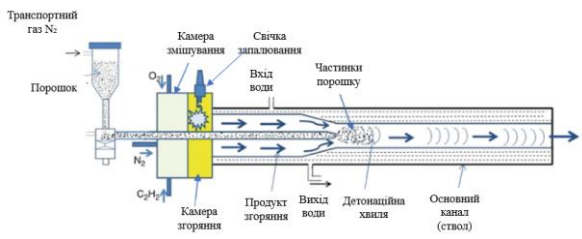


Рис. 6. Детонаційне напилення

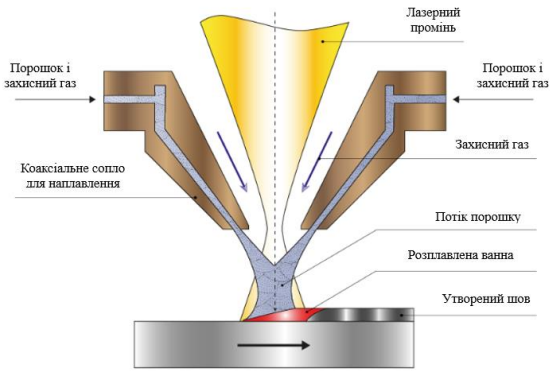


Рис. 7. Лазерне напилення

Детонаційне напилення відбувається наступним чином (рис. 6): вибухова газова суміш загоряється за допомогою електричного імпульсу, детонаційна хвиля переміщується вздовж ствола, прискорює і нагріває порошок. Частинки порошку, які прискорюються разом з продуктами детонації, набувають швидкості 500...1000 м/с і більше; нагріваються до потрібної температури й ударяються об поверхню деталі, утворюючи пляму діаметром декілька сантиметрів і товщиною декілька мікронів. Ствол очищується азотом і процес повторюється [1].

Останнім часом з'явився п'ятий метод — лазерне наплавлення (рис. 7), який дозволяє формувати покриття шляхом локального розплавлення металу лазером. Газове пальне змішують із киснем і підпалюють, утворюючи полум'я. Матеріал для покриття у вигляді дроту або порошку подається у полум'я. Дріт плавиться, а стиснене повітря, проходячи через сопло, розпилює розплавлений метал і осаджує його на оброблювану деталь — чим більший діаметр дроту, тим швидше відбувається напилення. Порошковий матеріал (металевий або керамічний) розм'якшується у полум'ї, а потік газів через сопло спрямовує його на деталь.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз методів напилення

Метод наплавлення	**Принцип**	**Температура, °C**	**Швидкість частинок**	**Якість покриття**	**Вартість обладнання**	**Типові застосування**
Газополуменеве наплавлення	Згоряння газу (ацетилен + кисень)	2800–3000	100–200 м/с	Середня пористість, адгезія середня	Низька	Відновлення зношених деталей, низьковимогливі покриття
Електродугове наплавлення	Плавлення двох дротів дугою	~4000	150–300 м/с	Середня щільність, шорсткість	Низька	Валки, барабани, захисні покриття
Плазмове наплавлення	Іонізація газу (аргон, водень) у плазмі	8000–16000	300–500 м/с	Висока щільність, адгезія хороша	Висока	Керамічні покриття, теплозахист, поршні
Вискошвидкісне газополуменеве (HVOF) наплавлення	Згоряння палива (керосин, H_2, пропан) з киснем → надзвуковий струмінь	2500–3200	600–1000 м/с	Дуже щільне, мінімальна пористість, висока адгезія	Висока	Тверді сплави (WC-Co), вали, циліндри, компресори
Детонаційне наплавлення	Вибухова хвиля суміші ($C_2H_2 + O_2$)	2500–4000	до 1200 м/с	Дуже висока адгезія, щільність майже 100%	Висока, складне обладнання	Твердосплавні покриття, високонавантажен поверхні
Лазерне наплавлення	Порошок плавиться лазером у зоні розплаву	>2000 (локально)	—	Металургійне з'єднання (без пористості), контрольована товщина	Дуже висока	Відновлення та зміцнення деталей, 3D-виробництво

Виконавши аналіз основних методів покриття деталей автомобіля ми зосередили свою увагу на подальшому дослідженні на вискошвидкісному газополуменевому (HVOF) напиленні, яке забезпечує надщільні покриття з твердістю до 1100-1150 HB, при цьому обладнання дешевше і простіше, ніж для лазерного чи детонаційного напилення.

Мінімальний нагрів деталі, на відміну від плазмового або лазерного методу, HVOF практично не перегріває основу, тому деталі не деформуються, що критично важливо для валів, колінчастих і розподільних валів, циліндрів, турбінних лопаток.

Висока адгезія та щільність покриття. Швидкість частинок понад 700–1000 м/с забезпечує міцне зчеплення і відсутність пористості. Широке використання в сучасних автомобільних технологіях. HVOF сьогодні застосовується такими компаніями, як Porsche, BMW, Rolls-Royce, Caterpillar, Cummins, для покриття циліндрів, поршнів, клапанів та валів. Покриття для поверхонь, нанесені методом HVOF напилення, є дуже перспективними для поршневих кілець, що використовуються у форсованих дизельних двигунах. Автор [4] виконав дослідження з

різними покриттям, які були випробувані як на стендах для випробування на знос, так і в двигунах. Поршневі кільця з покриттям HVOF зношувалися в три-шість разів менше, ніж хромовані. Знос гільз циліндрів виявився в один-три рази вищим, ніж у хромованих. Однак витрата моторної оливи та продування були в межах норми.

Покриття HVOF вважається чудовою заміною хромування. Процес нанесення покриття є більш екологічним, ніж процес хромування. Крім того, покриття має потенційно нижчу або еквівалентну собівартість виробництва порівняно з хромуванням.

Найбільш доцільним і сучасним методом для використання в автомобільному транспорті є вискошвидкісне газополуменеве напилення (HVOF). Воно забезпечує оптимальне поєднання твердості, зносостійкості, адгезії, економічності та екологічності, що робить його стандартом у сучасній відновлювальній і зміцнювальній обробці деталей двигунів та трансмісій.

Список використаних джерел

1. Дубовий О.М., Степанчук А.М. Технологія напилення покриттів: Підручник. - Миколаїв: НУК, 2007. - 236 с.

2. Thermal spraying, also commonly known as metal spraying is a surface engineering / coating process where a wide range of metals and ceramics can be sprayed onto the surface of another material. URL: https://www.metallisation.com/the-process/

3. Сундарараджан, Г., Рао, Д.С., Сівакумар, Г., Джоші, С.В. (2013). Детонаційне напилювання покриття. У. Ван, К.Дж., Чунг, Ю.В. (ред.) Енциклопедія трибології. Спрінгер, Бостон, Массачусетс. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5_704

4. Растегар, Ф., «Керамічні покриття HVOF для дизельних двигунів великої потужності», Технічний документ SAE 970817, 1997, https://doi.org/10.4271/970817 .

Ігнатюк Роман Михайлович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: r.m.ihnatiuk@nuwm.edu.ua;

Стадник Олександр Святославович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: o.s.stadnyk@nuwm.edu.ua;

Пахаренко Володимир Леопольдович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: v.l.pakharenko@nuwm.edu.ua

Ihnatiuk Roman Mykhailovych – Ph. D. (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: r.m.ihnatiuk@nuwm.edu.ua;

Stadnyk Oleksandr Svyatoslavovych – Ph. D. (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: o.s.stadnyk@nuwm.edu.ua;

Pakharenko Volodymyr Leopol'dovych – Ph. D. (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: v.l.pakharenko@nuwm.edu.ua

УДК 621.43:621.317

Ільченко А.В.

ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ВИТРАТ БІОПАЛИВ ДВИГУНОМ АВТОМОБІЛЯ (НА ПРИКЛАДІ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА З ДОМІШКОЮ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ 30%)

Проведено перевірку адекватності розробленого методу визначення та контролю витрат біопалив для автомобіля ГАЗ-33060 за використання дизельного палива з домішкою ріпакової олії 30% в діапазоні швидкостей його руху 65-95 км/год. Показано, що відносна похибка розрахунків витрат за допомогою запропонованого методу визначення та контролю витрат біопалив щодо значень витрат отриманих експериментально не перевищує 2,89%.

Ключові слова: *автомобіль, біопаливо, ріпакова олія, витрата біопалива, метод контролю витрат біопалив.*

The adequacy of the developed method for determining and controlling biofuel consumption for the GAZ-33060 vehicle using diesel fuel with a 30% rapeseed oil admixture in the speed range of 65-95 km/h was tested. It was shown that the relative error of calculating consumption using the proposed method for determining and controlling biofuel consumption relative to the consumption values obtained experimentally does not exceed 2.89%.

Keywords: *car, biofuel, rapeseed oil, biofuel consumption, biofuel consumption control method.*

Сьогодні в усьому світі необхідність використання біопалив на транспортних засобах не викликає сумнівів. Для автомобілів з дизельними двигунами такими паливами можуть бути сумішеві палива з додаванням олій рослинного походження. Багато авторів вважають найбільш привабливою домішкою до дизельного палива ріпакову олію різних об'ємних концентрацій. Це пояснюється її багатьма перевагами у порівнянні з іншими рослинними оліями. Такий підхід дозволяє зменшити обсяги споживання нафтових палив, позитивно вплинути на екологічну ситуацію, забезпечити сталий розвиток.

Використання дизельних палив з домішками різних рослинних олій на автомобільному транспорті потребує теоретичних досліджень та експериментальної перевірки для встановлення норм та контролю їх витрат.

Практика показує, що за експлуатації автомобілів з дизелями на сумішах дизельного палива та ріпакової олії з різними об'ємними концентраціями відбувається збільшення питомих витрат таких палив на 2-5%.

Автором розроблений метод визначення та контролю витрат біопалив з різною об'ємною концентрацією біодомішок для автомобіля, що рухається у відомих дорожньо-транспортних умовах на відомих навантажувальних та швидкісних режимах. Даний метод, на основі введених нових категорій (відносна густина, відносна нижча теплота згорання та відносна теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг біодомішки) дозволяє визначити коефіцієнт зміни витрати біопалива з врахуванням об'ємної концентрації біологічної складової в ньому [1].

За даним методом проведено розрахунок витрат дизельного палива з 30% за об'ємом домішкою ріпакової олії двигуном автомобіля ГАЗ-33060 у швидкісному діапазоні його руху 65-95 км/год та зроблено порівняння експериментальних даних витрат дизельного палива цього автомобіля, що встановлений на стенді з біговими барабанами [1, 2].

За результатами експериментальних досліджень і розрахунків за використання дизельного палива та біопалива на його основі з додаванням 30% за об'ємом ріпакової олії (табл. 1) побудовано графічні залежності (рис. 1.) витрат вказаних палив від швидкості руху автомобіля.

Рівняння апроксимації залежності 1 (рис. 1.), отриманої розрахунковим методом з достовірністю $R^2 = 0{,}998$:

$$Q^{\mathrm{P}}_{\text{ДП+30\% РО}} = -0{,}0038V_{\mathrm{a}}^2 + 0{,}4925V_{\mathrm{a}} + 6{,}7486. \quad (1)$$

Рівняння апроксимації залежності 2 (рис. 1), отриманої експериментально з достовірністю $R^2 = 0{,}98$:

$$Q^{\mathrm{E}}_{\text{ДП+30\% РО}} = -0{,}004V_{\mathrm{a}}^2 + 0{,}6083V_{\mathrm{a}} - 0{,}8857. \quad (2)$$

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків витрат дизельного палива та біопалива на його основі

Показник		Швидкість, км/год						
		65	70	75	80	85	90	95
Витрата палива (експеримент), л/100 км	дизельне	21,8	21,7	21,5	20,4	20,4	19,45	18,6
	дизельне з 30% домішкою ріпакової олії	21,5	21,9	22,1	21,8	21,5	21,1	20,4
Витрата дизельного палива з 30% домішкою ріпакової олії (розрахунок), л/100 км		22,76	22,65	22,45	21,9	21,3	20,31	19,42
Відносна похибка, %		5,54	3,31	1,56	2,29	0,93	3,74	2,84
Середня відносна похибка, %		2,89						

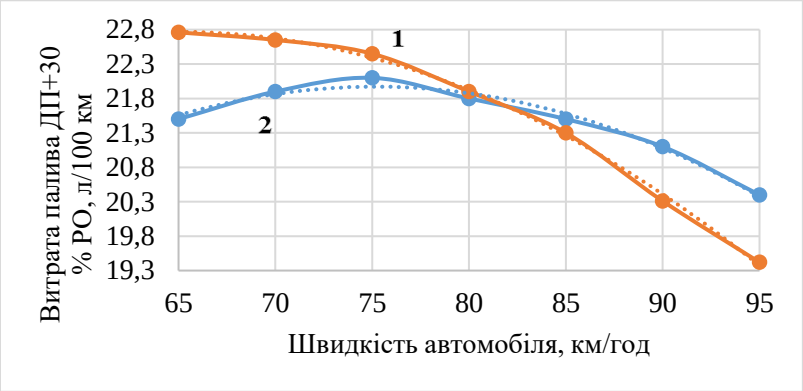


Рисунок 1 – Витрата біопалива (дизельне паливо + 30% за об'ємом ріпакової олії) автомобіля ГАЗ-33060 від швидкості руху: 1 – розрахункова; 2 – експериментальна.

Висновок: Аналіз отриманих розрахункових даних витрат біопалив на основі дизельного палива з додаванням 30% за об'ємом ріпакової олії показує задовільну адекватність розробленого методу визначення та контролю витрат біопалив з використанням запропонованого коефіцієнта зміни витрат біопалив. Відносна похибка розрахункових та експериментальних даних в діапазоні швидкостей руху автомобіля ГАЗ-33060 65-95 км/год на стенді з біговими барабанами має середнє значення 2,89%.

Список використаних джерел

1. Ільченко А.В. Методологічні основи визначення і контролю витрат біопалив в процесі руху автомобіля / А.В. Ільченко // Вісник машинобудування та транспорту ВНТУ – 2024, № 1(19). - с. 61-67. DOI: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-61-67

2. Ільченко А.В. Експериментальні дослідження зміни витрат моторних палив з добавками ріпакової олії / А.В. Ільченко, Р.В. Колодницька, В.П. Кур'ята // Автомобільний транспорт. Збірка наукових праць. - Харків: 2005. – № 16. – С. 267-269.

Ільченко Андрій Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу, Поліський національний університет, академік Транспортної академії України, e-mail: avi_77@ukr.net

Andrii Ilchenko **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Agricultural Engineering and Technical Service Department, Polissya National University, Academician of the Transport Academy of Ukraine, e-mail: avi_77@ukr.net

УДК 65.018

А.В. Йовченко

ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ ОЩАДЛИВОГО ВИРОБНИЦТВА В ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ

Розглянуто доцільність використання принципів ощадливого виробництва в транспортній логістиці. Поєднання методів ощадливого виробництва (Lean) та систем масового обслуговування (СМО) забезпечує ефективне управління логістичними процесами шляхом кількісного обґрунтування рішень і зниження втрат. Інтеграція з цифровими технологіями — Big Data, GPS, RFID, IoT та ШІ — підвищує точність моніторингу та прогнозування, формуючи адаптивні й стійкі логістичні системи майбутнього.

Ключові слова: *автотранспортне підприємство, ощадливе виробництво, система масового обслуговування, складські комплекси, транспортна логістика.*

The feasibility of using lean manufacturing principles in transport logistics is considered. The combination of lean manufacturing (Lean) methods and mass service systems (MSS) ensures effective management of logistics processes by quantitatively justifying decisions and reducing losses. Integration with digital technologies — Big Data, GPS, RFID, IoT and AI — increases the accuracy of monitoring and forecasting, forming adaptive and sustainable logistics systems of the future.

Keywords: *motor transport company, lean production, mass service system, warehouse complexes, transport logistics.*

Сучасний розвиток транспортної логістики потребує підвищення ефективності перевезень, зниження витрат і підвищення якості послуг. Глобальна конкуренція та нестабільність ринку зумовлюють необхідність упровадження інноваційних методів управління логістичними процесами. Одним із найрезультативніших підходів є концепція ощадливого виробництва (Lean production), спрямована на усунення втрат, оптимізацію процесів і створення максимальної цінності для споживача [1, 2].

Застосування принципів Lean у транспортній логістиці дозволяє скоротити простої транспортних засобів, оптимізувати маршрути перевезень, зменшити витрати палива, підвищити ефективність складування та документообігу. Це забезпечує конкурентні переваги підприємствам і сприяє сталому розвитку транспортних систем [3].

В умовах зростання вимог до ефективності, якості та екологічної безпеки традиційні підходи до управління потоками матеріалів і ресурсів не завжди забезпечують належні результати. Тому перспективним напрямом є поєднання методів систем масового обслуговування (СМО), що дають змогу математично моделювати процеси обслуговування заявок, із принципами ощадливого виробництва, орієнтованими на усунення втрат і підвищення цінності для споживача [3].

Складські процеси є ключовим елементом транспортної логістики. Недосконалі схеми руху вантажів, дублювання операцій і надмірні маршрути призводять до зростання витрат часу та ресурсів. Особливо актуальним є аналіз так званих «петель» — повторюваних циклічних рухів вантажів чи персоналу, які не створюють доданої цінності та знижують продуктивність. Усунення таких втрат є одним із базових завдань концепції Lean [4].

Концепція ощадливого виробництва (Lean production) бере свій початок із системи Toyota Production System (TPS), розробленої Тайїті Оно. Саме в її межах сформувалися такі інструменти, як кайдзен, 5S, канбан, покайоке тощо. У працях Дж. Вумека та Д. Джонса визначено п’ять основних принципів Lean: визначення цінності, забезпечення безперервного потоку, впровадження системи «витягування» та прагнення до досконалості.

У наукових дослідженнях [3, 4] розглядаються можливості адаптації Lean до українських транспортних підприємств, з урахуванням економічних викликів і нестабільності інфраструктури. Впровадження ощадливих принципів у логістику дозволяє скоротити втрати часу, підвищити ефективність перевезень і покращити якість обслуговування клієнтів.

Основні види втрат, характерні для транспортної логістики [5]:

– часові втрати – простої транспорту, очікування навантаження/розвантаження;
– надлишкові перевезення – неоптимальні маршрути, зворотні рейси без вантажу;

– зайві переміщення вантажів і персоналу на складах;
– дефекти документації – помилки в товарно-транспортних накладних;
– нерівномірність використання ресурсів – надмірне навантаження окремих транспортних засобів при простої інших.

Таким чином, застосування Lean-підходів у транспортній логістиці забезпечує зниження втрат, підвищення ефективності потоків та оптимізацію витрат підприємства.

Для покращення роботи підприємства необхідно спочатку проаналізувати потоки на складі транспортного підприємства та запропонувати заходи щодо їх оптимізації з урахуванням концепції ощадливого виробництва (Lean) [6].

Впровадження Lean у транспортній логістиці демонструє позитивні результати в міжнародній і вітчизняній практиці. Так, оператори автоперевезень у ЄС скоротили витрати палива на 10–15 % завдяки оптимізації маршрутів і усуненню простоїв. Застосування системи Kanban зменшило кількість помилок у відвантаженнях на 25 %, а використання Value Stream Mapping (VSM) на українських підприємствах виявило, що понад 30 % часу втрачалося на очікування завантаження — після впровадження регламентованих графіків ці втрати були скорочені. Lean сприяє підвищенню безпеки перевезень, зменшенню стресу водіїв і зниженню впливу транспорту на довкілля завдяки кращій організації транспортних процесів.

Під час аналізу роботи складу особлива увага приділяється виявленню “петель” — ділянок повторного переміщення вантажів, що призводять до втрат часу й ресурсів. Їх поява пов’язана з неефективним розташуванням зон зберігання чи помилками в плануванні. Для зменшення впливу таких втрат доцільно оптимізувати схему складу, маршрути руху персоналу та вантажів, а також впровадити електронну систему обліку та контролю.

Пропозиції для транспортного підприємства: впровадити систему управління складом (WMS) для контролю потоків; оптимізувати розташування зон зберігання з метою скорочення маршрутів; застосувати бар-коди або RFID для точного обліку вантажів; запровадити KPI для оцінки ефективності складу; здійснювати регулярний аналіз логістичних “петель” і усунення зайвих переміщень.

Система масового обслуговування (СМО) — це набір математичних моделей, що описують процеси обслуговування заявок у чергах і дозволяють визначати середній час очікування, довжину черги та завантаження ресурсів. Lean-production орієнтується на усунення основних видів втрат: очікування, транспортування, надвиробництва, надмірної обробки, дефектів, запасів і непотрібних рухів.

Поєднання СМО та Lean базується на взаємодоповнюваності їхніх підходів: СМО забезпечує математичний аналіз і прогнозування роботи системи, а Lean — практичні методи усунення втрат. Наприклад, якщо моделювання СМО показує перевантаження певної ділянки, Lean-інструменти (Kanban, Kaizen, SMED) допомагають скоротити втрати та збалансувати навантаження.

Інтеграція цих підходів ефективна в різних сферах [6]:
– виробництво — СМО моделює черги, Lean зменшує простої;
– складська логістика — СМО прогнозує час обробки, Lean оптимізує простір;
– транспорт — СМО описує потоки руху, Lean скорочує порожні рейси;
– сервіс — СМО оцінює час очікування, Lean стандартизує обслуговування.

Таке поєднання створює основу для комплексної оптимізації виробничих і логістичних систем. Математичне моделювання забезпечує кількісну оцінку змін, а Lean-практики — їх реалізацію. У цифрову епоху це дозволяє створювати інтегровані рішення для підвищення ефективності управління потоками в реальному часі.

Першим етапом підвищення ефективності транспортної логістики є виявлення так званих «петель» — повторюваних переміщень без доданої цінності. На підприємствах вони становлять у середньому 15–20 % переміщень персоналу та близько 10 % руху вантажів, що призводить до зайвих витрат часу, підвищеного фізичного навантаження, зростання споживання енергії, зносу техніки й ризику помилок у комплектації замовлень. Прикладом є комплектування одного замовлення у двох зонах складу замість однієї чи повернення до попередньої точки.

Для усунення таких втрат слід реорганізувати зони зберігання — розміщувати найбільш затребувані позиції ближче до зони комплектації, забезпечити прямолінійність маршрутів і односторонні потоки. Доцільно впроваджувати системи маркування, візуальні індикатори та

використання мобільних візків. Планування маршрутів персоналу має враховувати частоту використання товарів, а регулярний аудит допомагає своєчасно виявляти нові петлі та «вузькі місця». Автоматизація процесів за допомогою систем управління складом (WMS) дозволяє оптимізувати рух потоків і скоротити середній час обробки замовлень.

Принципи ощадливого виробництва (Lean production) довели свою ефективність як інструмент підвищення результативності транспортної логістики. Їх застосування забезпечує зменшення втрат часу, ресурсів і енергії, підвищення якості логістичного обслуговування, скорочення експлуатаційних витрат і підсилення конкурентоспроможності транспортних підприємств.

Впровадження Lean-підходів у діяльність транспортно-логістичних структур дає змогу підвищити ефективність роботи складів, оптимізувати внутрішні потоки матеріалів і інформації, скоротити кількість непотрібних переміщень («петель») та забезпечити раціональне використання площ і трудових ресурсів. Усунення повторюваних циклів руху вантажів і персоналу сприяє зменшенню часу обробки замовлень і підвищенню продуктивності складу.

Висновки

Поєднання методів ощадливого виробництва та системи масового обслуговування (СМО) створює синергетичний ефект: СМО забезпечує кількісне обґрунтування управлінських рішень, а Lean — практичні інструменти їх реалізації. Така інтеграція дозволяє більш точно визначати вузькі місця логістичних процесів, підвищувати пропускну здатність системи та забезпечувати її збалансоване навантаження.

Подальший розвиток концепції Lean у транспортній логістиці доцільно здійснювати в напрямі цифровізації процесів. Інтеграція з сучасними інформаційними технологіями — Big Data, GPS-моніторингом, RFID, IoT-сенсорами та системами штучного інтелекту — відкриває нові можливості для моніторингу потоків у реальному часі, прогнозування завантаженості та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Таким чином, застосування принципів ощадливого виробництва у поєднанні з цифровими інструментами формує основу для створення адаптивних, стійких та екологічно орієнтованих логістичних систем майбутнього.

Список використаних джерел

1. Ковальчук В. А. Логістика: системний підхід до управління потоками. – К.: Центр учбової літератури, 2018.

2. Саленко О. В., Кравченко І. І. Системи масового обслуговування у транспортній логістиці. – Харків: ХНАДУ, 2020.

3. Лисенко О. П. Впровадження принципів ощадливого виробництва на транспортних підприємствах. // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2022. – № 79. – С. 53–59.

4. Kolpakova, T., Zubko, O. Lean technologies in logistics: Ukrainian experience. Economic Innovations, 22(3), 2020, 68–75.

5. Кисіль, С. В., Дяченко, М. О. Ощадливе виробництво як інструмент підвищення ефективності транспортних підприємств. Вісник транспортних технологій, 2021, №19, 45–52.

6. Жук, О. В. Впровадження Lean-підходів у логістичні системи України. Економіка транспорту і логістика, №47, 2022, 92–100.

Йовченко Алла Василівна **–** к.т.н., ст. викладач кафедри автомобілів та технології їх експлуатації, Черкаський державний технологічний університет, м.Черкаси, e-mail: a.yovchenko@chdtu.edu.ua

Yovchenko Alla V. **–** Ph.D., senior lecturer of the Department of automobiles and technologies of their operation, Cherkassy State Technological University, Cherkassy, e-mail: a.yovchenko@chdtu.edu.ua

УДК 623:621.31

М.К. Канчуга

ПЕРСПЕКТИВИ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ СУЧАСНОЇ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Розглянуто перспективи зміни конструкції військової техніки шляхом застосування електричних трансмісій, переваги та недоліки таких конструкцій. Проаналізовано досвід використання таких електричних трансмісій на техніці іноземного виробництва. Запропоновано можливі шляхи розвитку електрифікації трансмісій сучасної військової техніки.

Ключові слова: *військова техніка, трансмісія, іноземний досвід, електрифікація.*

The prospects for changing the design of military equipment through the use of electric transmissions, as well as the advantages and disadvantages of such designs, are considered. The experience of using such electric transmissions in foreign-made equipment is analyzed. Possible ways of developing the electrification of transmissions in modern military equipment are proposed.

Keywords: *military vehicles, transmission, foreign experience, electrification.*

Військова техніка залишається незмінною складовою у сучасних Збройних Силах, а її постійне вдосконалення визначає ефективність виконання бойових завдань. Одним із ключових напрямів цього розвитку є впровадження новітніх технологій, спрямованих на підвищення енергоефективності та надійності сучасних машин. У цьому контексті особливого значення набуває електрифікація трансмісій військової техніки, яка відкриває нові перспективи підвищення мобільності, зниження експлуатаційних витрат і зменшення помітності техніки на полі бою.

Електрифікація військових машин розвивається завдяки технологічним досягненням, котрі є рушієм змін у підході до розробки та конструювання нових та більш досконалих машин. Протягом останніх кількох років спостерігається перехід до інтеграції електричних силових установок у військові транспортні засоби з метою підвищення операційної ефективності, зменшення залежності від традиційних джерел палива та вирішення екологічних проблем. Досягнення в галузі акумуляторних технологій, такі як розробка рішень з високою енергетичною щільністю та покращення характеристик безпеки, мають вирішальне значення для збільшення дальності та витривалості дії електрифікованих військових транспортних засобів.

Ринок систем генерації електроенергії є другим за величиною сегментом ринку за типами систем. Залежно від призначення, ринок електрифікації військових транспортних засобів поділяється на системи генерації електроенергії, системи охолодження, системи зберігання енергії, системи тягового приводу руху, системи перетворення енергії та системи передачі енергії. Очікується, що сегмент систем генерації електроенергії зазнає значного зростання на ринку електрифікації військових транспортних засобів завдяки поєднанню таких факторів, як технологічний прогрес, експлуатаційні переваги та стратегічні імперативи. Інтеграція систем генерації електроенергії з військовими машинами робить їх більш універсальними та ефективними в цілому. Системи включають в себе складні генератори та бортові системи зберігання енергії, які дозволяють транспортним засобам генерувати та зберігати електроенергію на борту. Вони забезпечують підвищену швидкість реагування та гнучкість постачання енергії до військового обладнання та систем, що мають критичне значення для виконання місій, роблячи військові машини оперативно спроможними [1].

Зокрема, транспортні засоби є ключовими елементами сучасних військових операцій як мобільні командні центри, що забезпечують зв'язок, координацію та прийняття рішень. Електрифікація таких транспортних засобів має ряд переваг, серед яких: менший рівень шуму, збільшення непомітності та краща динаміка, що є необхідними для ефективного керування та контролю в різних умовах експлуатації чинниками. Електрифіковані транспортні засоби забезпечують кращу оперативну ефективність та швидкість реагування. Електричні системи приводу сприяють швидкому прискоренню, уповільненню та маневреності, що дозволяє швидко передислокувати та перепозиціонувати транспортні засоби на арені бойових дій.

Європейські країни є лідерами на ринку за темпами електрифікації військових транспортних засобів. Необхідність модернізації змусила країни цього регіону інвестувати значні кошти у впровадження технологій електрифікації військових транспортних засобів, таких

як гібридні електроприводи, паливні елементи, акумулятори та повністю електричні транспортні засоби [2].

З іншого боку повністю електричне рішення на даний момент не має сенсу для броньованих машин. Воно може бути доцільним для безпілотних машин або суто логістичних транспортних засобів, які експлуатуються всередині країни, але не в польових умовах. Основними обмеженнями залишаються все ще недостатня енергоємність акумуляторів, значна маса енергетичних систем та складність їх обслуговування в польових умовах. Крім того, повністю електричні машини потребують розвиненої інфраструктури заряджання, яка практично відсутня у зоні бойових дій. Також важливим фактором є ризик втрати автономності та зниження бойової живучості техніки у разі пошкодження енергосистеми.

Тому найоптимальнішим рішенням на даний момент є гібридизація військових машин, тобто це не повністю електричні машини, а компонування певних традиційних і сучасних рішень задля отримання найкращого результату. В цивільній інфраструктурі вже використовуються вантажівки, в яких електродвигуни поєднані з повністю автоматичною коробкою передач, що створює гібридну паралельну силову установку. Це дозволяє використовувати електричну енергію електродвигуна для приводу, або використовувати двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), або поєднувати обидва двигуни, причому електродвигун виступає в ролі підсилювача [3]. В процесі розробки нових гібридних рішень виявляються нові переваги, які надають такі паралельні системи, як наприклад те, що електродвигун може перезапустити тепловий двигун у разі виходу з ладу системи запуску двигуна внутрішнього згоряння, про що раніше навіть не згадувалось, а це значно підвищує надійність таких машин. Це додається до добре відомих переваг гібридних силових установок з точки зору безшумного руху на останніх кілометрах за допомогою повністю електричного приводу, наявності на борту енергії для безшумного спостереження, зменшення теплового сліду при роботі тільки на електроенергії та зменшення споживання палива, особливо при виконанні певних завдань.

Отже, збільшення ваги багатьох старих військових машин через вимоги до кращого захисту та додавання численних підсистем, яких не було на оригінальних платформах, призвело до значного збільшення маси, що також критично вплинуло на споживання енергії та зменшення динамічних характеристик. Тому найбільш реалістичним і практичним шляхом розвитку на найближчий час це комбінування традиційного ДВЗ із електричними компонентами трансмісії: гібридні силові установки з електродвигунами, накопичувачами енергії, рекуперацією та розвиненою системою управління, тихим ходом та енергоефективністю. Такий підхід значно знижує паливну витрату, покращує мобільність і живучість у польових умовах, а також робить логістику й технічне обслуговування більш прогнозованими, водночас відводячи повну електрифікацію для безпілотних і внутрішньологістичних платформ.

Список використаних джерел

1. The Automotive TM, HEV and EV Drives magazine by CTI. A division of EUROFORUM Deutschland SE, Dusseldorf, Germany. 2016. 76 c.

2. Stadtfeld, Hermann J. “Introduction to Electric Vehicle Transmissions.” Gear Technology: The Automotive TM, HEV & EV Drives, Sept.–Oct. 2020, pp. 42–50. EUROFORUM Deutschland SE, www.geartechnology.com

3. Allison Transmission: looking forward to military vehicles hybridisation. URL: https://www.edrmagazine.eu/allison-transmission-looking-forward-to-military-vehicles-hybridisation (дата звернення 08.10.2025).

Канчуга Мар’ян Казимирович – старший викладач кафедри іноземних мов та військового перекладу, Національна академія сухопутних військ, Львів, mkanchuga4@gmail.com

Kanchuha Marian – senior teacher, department of foreign languages and military translations, Hetman Petro Sahaidachnyi The National Army Academy, Lviv, mkanchuga4@gmail.com

УДК 656.072

В.А. Кашканов, О.А. Рудий

СУЧАСНИЙ СТАН ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ У МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ

Наведено сучасний стан проблем організації перевезень пасажирів автомобільним транспортом у міжміському сполученні. Визначено основні показники безпеки автобусних перевезень за 2022-2025 роки, стан кадрового забезпечення галузі та встановлено розподіл пріоритетів розвитку міжміських пасажирських перевезень.

Ключові слова: *пасажирські перевезення автомобільним транспортом, інфраструктура автомобільного транспорту, безпека автобусних перевезень, пріоритет розвитку.*

The current state of the problem of organizing passenger transportation by road in intercity traffic is presented. The main indicators of bus transportation safety for 2022-2025, the state of human resources in the industry and the distribution of priorities for the development of intercity passenger transportation are determined.

Key words: *passenger transportation by road, road transport infrastructure, bus transportation safety, development priority.*

Вступ

Організація пасажирських перевезень автомобільним транспортом у міжміському сполученні є важливим елементом транспортної системи України. Вона забезпечує мобільність населення, соціально-економічну єдність регіонів і доступ громадян до основних центрів діяльності. Після початку війни 2022 року система пасажирських перевезень зазнала значних змін: зруйновано частину доріг, скорочено кількість маршрутів, зменшився попит.

Відомо, що інфраструктурне забезпечення пасажирських перевезень визначає ефективність і комфорт пасажирських перевезень [1, 2].

Пасажирська інфраструктура автомобільного транспорту в Україні охоплює всі об’єкти та системи, які забезпечують комфортне, безпечне та ефективне перевезення пасажирів. До її складу входять:

- автостанції та автовокзали: місця посадки та висадки пасажирів, зони очікування, каси, санвузли, інформаційні стенди;
- зупинки громадського транспорту: обладнані павільйони, лавки, електронні табло, інформаційні вказівники;
- міжнародні автобусні пункти пропуску: термінали, митні та прикордонні зони, зони відпочинку для водіїв;
- інфраструктура для осіб з обмеженими можливостями: пандуси, ліфти, спеціальні туалети, тактильні доріжки.
- системи електронного обліку та оплати: QR-коди, мобільні додатки, електронні квитки.

В таблиці 1 наведено сучасний стан пасажирської інфраструктури з відкритих джерел.

Таблиця 1 – Стан пасажирської інфраструктури в Україні

Показник	Кількість / Частка	Джерело
Загальна кількість автостанцій	1180	Мінінфраструктури України
Відповідають сучасним стандартам	497 (42%)	[2]
Потребують реконструкції	683 (58%)	Мінінфраструктури України
Оснащені електронними системами продажу квитків	215 (18%)	Мінінфраструктури України
Мають умови для маломобільних груп	162 (13,7%)	[2]

Станом на 2025 рік маємо пошкодження транспортної інфраструктури через війну. Присутня також низька якість обслуговування при виконанні пасажирських перевезень, оскільки багато автостанцій та зупинок не відповідають сучасним стандартам, відсутні необхідні умови для пасажирів, а обмежені бюджетні кошти ускладнюють відновлення та модернізацію інфраструктури.

Безпека руху є одним із ключових показників якості організації перевезень. За даними звітів Національної поліції на офіційному сайті, кількість ДТП за участю автобусів у 2024 році скоротилася на 15% порівняно з 2022 роком. Основні причини ДТП: технічні несправності та порушення режиму праці водіїв. Основні показники безпеки автобусних перевезень в Україні наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 - Основні показники безпеки автобусних перевезень в Україні

Показник	2022	2023	2024
Кількість ДТП за участю автобусів	1 028	923	872
Загиблі в ДТП (осіб)	84	73	69
Травмовані (осіб)	1 127	995	931
ДТП через технічні несправності автобусів	23%	21%	19%
ДТП через людський фактор	68%	69%	70%

Проведений аналіз кадрового стану в галузі міжміських автобусних перевезень, станом на 2024-2025 роки, наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 - Кадровий стан у галузі міжміських автобусних перевезень

Показник	Значення	Джерело
Кількість ліцензованих перевізників	5 430	Мінінфраструктури України, 2025
Кількість водіїв категорії D	≈ 28 000	Державна служба зайнятості, 2025
Дефіцит кадрів	≈ 27%	Асоціація автоперевізників, 2024
Середній вік водія	49 років	УкрТрансБезпека, 2024
Частка водіїв із досвідом понад 10 років	61%	Державна служба статистики, 2024

У сфері пасажирських перевезень відчувається нестача працівників: майже 30 % вакансій серед водіїв громадського транспорту. Зібрані дані обласних адміністрацій показують, що потреба у водіях для автобусів та електротранспорту (включно з міжміським і міським) становить понад 6 тисяч осіб. Багато водіїв були мобілізовані. Це призвело до ситуацій, коли перевізникам не вистачає людей, щоб забезпечити всі рейси. Зарплати у сферах міжнародних автобусних перевезень загалом вищі, ніж у пасажирських перевезеннях всередині країни, що дає перевагу таким маршрутам з точки зору залучення кадрів, але перевізникам все важче дотриматися вимоги про середню зарплату (у згаданих умовах) через економічний тиск, зростання витрат, нестабільність. Маршрутні автобуси, особливо на міжміських маршрутах, потребують саме кваліфікованих водіїв, які мають не лише права відповідної категорії, але й досвід, знання правил міжобласного та міжнародного перевезення, роботи в умовах тривалих рейсів, зупинок на кордоні, тощо.

Можливі рішення та напрями покращення кадрового забезпечення міжміських автобусних перевезень:

1. Стимулювання кадрового поповнення (полегшення процедури отримання категорій прав, наприклад, скорочення бар'єрів, забезпечення підготовки водіїв за державної чи місцевої підтримки).
2. Підвищення привабливості роботи (підвищення зарплати, соціальних гарантій, страхувань, умов праці).
3. Оптимізація маршрутної роботи (організація графіків так, щоб уникати надмірної втоми, зменшити простої).
4. Використання технологій для планування (щоб розподіл водіїв був більш ефективним).
5. Державна підтримка (субсидії чи компенсації для міжміських перевізників, які забезпечують маршрути, але не можуть підняти тарифи).
6. Програми державного навчання, гранти.
7. Можливість часткової/гнучкої зайнятості, щоб долучити тих, хто з різних причин не може працювати стандартно.
8. Чіткі правила щодо мобілізації водіїв, їх бронювання.
9. Спрощення дозвільних процедур, зменшення адміністративного навантаження.

10. Підтримка організацій, які працюють над реформою автобусних перевезень (міжміських і міжнародних).

Системний аналіз стану пасажирських перевезень автомобільним транспортом в Україні (станом на 2025 рік), із урахуванням державних програм, тенденцій ринку та сучасних викликів встановив, що пріоритети розвитку міжміських пасажирських перевезень повинні складатись з таких напрямків: модернізація транспортної інфраструктури; цифровізація системи перевезень; оновлення автобусного парку; вирішення кадрових проблем; інтеграція в європейський транспортний простір; екологізація перевезень; підвищення якості обслуговування пасажирів.

Розподіл пріоритетів розвитку міжміських пасажирських перевезень в Україні може бути поданий у вигляді кругової діаграми на рисунку 1.

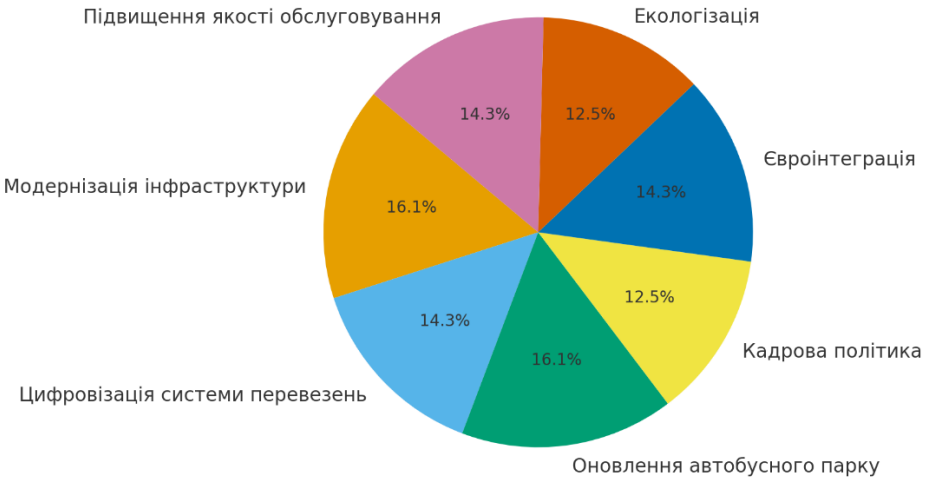


Рисунок 1 - Розподіл пріоритетів розвитку міжміських пасажирських перевезень в Україні

Висновки

Сучасна система організації міжміських пасажирських перевезень автомобільним транспортом в Україні перебуває на етапі формування та відновлення. Покращення стану інфраструктури, цифровізація управління, підвищення стандартів безпеки та кадрова підтримка визначають ключові напрями її розвитку. Реалізація цих заходів дозволить створити ефективну, комфортну та безпечну систему перевезень, яка відповідатиме стандартам ЄС.

Список використаних джерел

1. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. Організація автомобільних перевезень : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 139 с.

2. Грінченко Т., Галак К., Малійова О. Особливості формування архітектурно-планувальних рішень пасажирських автостанцій та автовокзалів в малих містах України. *SWorld Journal*, 2023. С. 3-8. DOI: 10.30888/2663-5712.2024-23-00-040

3. Транспорт та інфраструктура: стан і перспективи створення зелених робочих місць. URL: https://surl.li/kzmisy

Кашканов Віталій Альбертович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: v.kashkanov@vntu.edu.ua

Рудий Олександр Анатолійович – магістрант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: saniadsl.06.06.84@gmail.com

Kashkanov Vitaliy A. – Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, Associate Professor, Department of Automobile and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: v.kashkanov@vntu.edu.ua

Rudyy Oleksandr A. – magistrant, Department of Automobile and Transport Management, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsia, e-mail: saniadsl.06.06.84@gmail.com

УДК 656.072

В.А. Кашканов, К.І. Томляк

АКТУАЛЬНІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Наведено сучасний стан проблеми функціонування транспортних систем великих міст України та актуальність підвищення пропускної спроможності об'єктів транспортної інфраструктури. Наведено класифікацію факторів, що визначають пропускну спроможність зупинного пункту міського пасажирського транспорту та аналіз способів його підвищення.

Ключові слова: *вулично-дорожня мережа, зупинний пункт міського пасажирського транспорту, міський транспортний комплекс, пропускна здатність.*

The current state of the problem of the functioning of transport systems in large cities of Ukraine and the relevance of increasing the throughput of transport infrastructure facilities are presented. The classification of factors that determine the throughput of a stopping point of urban passenger transport and the analysis of ways to increase it are presented.

Key words: *street and road network, stopping point of urban passenger transport, urban transport complex, throughput.*

Стійкою тенденцією розвитку міських транспортних систем, характерною для більшості країн світу, є зростання рівня автомобілізації та пов'язане з цим загострення технологічних, організаційних, планувальних та екологічних проблем. Проблеми, що виникають через зниження якості функціонування вулично-дорожньої мережі (ВДМ) у великих містах України, мають значний вплив на діяльність міського транспортного комплексу [3, 5].

Одним із напрямків рішення зазначених проблем є підвищення привабливості та провізної здатності міського пасажирського транспорту (МПТ) та зниження частки транспортних кореспонденцій, що реалізуються за допомогою транспорту індивідуального користування. Система управління міським пасажирським транспортом передбачає основне завдання, яке полягає в тому, щоб створити для мешканців міст такі умови, коли вони обирали б спосіб пересування на міському пасажирському транспорті, а не у власному автомобілі [2]. Реалізація заходів, спрямованих на вдосконалення роботи міського пасажирського транспорту загального користування, часто призводить до збільшення інтенсивності руху транспортних засобів, які обслуговують регулярні міські маршрути. Збільшення чисельності пасажирських транспортних засобів, у свою чергу, стає причиною надлишкового навантаження на транспортну інфраструктуру, тобто на: ВДМ, зупинні пункти міського пасажирського транспорту, відстійно-розворотні майданчики та інші об'єкти. Збільшення інтенсивності руху пасажирських транспортних засобів магістральними міськими вулицями сприяє формуванню заторних процесів на зупинних пунктах, що найбільше виявляються в години пікових пасажиропотоків [2, 4]. Виходячи з зазначених проблем, визначено, що розробка заходів, спрямованих на підвищення пропускної спроможності об'єктів транспортної інфраструктури, передусім зупинних пунктів маршрутів міського пасажирського транспорту, є актуальною задачею.

Підвищення пропускної спроможності транспортної інфраструктури може бути забезпечено як за рахунок її розширення та реконструкції, так і за рахунок реалізації заходів організаційного характеру щодо існуючих інфраструктурних об'єктів. Висуваємо припущення про те, що заходи організаційного характеру матимуть меншу капіталомісткість та можуть бути реалізовані у стислий термін. Недостатня пропускна спроможність зупинних пунктів міського пасажирського транспорту загального користування є причиною зниження продуктивності пасажирських транспортних засобів, а й створює перешкоди руху транспортних потоків, будучи однією з причин формування заторових процесів на міській ВДМ [1].

Виділимо п'ять груп факторів, що визначають пропускну спроможність зупинних пунктів міського пасажирського транспорту та формуються такими складовими міської транспортної системи: ВДМ; параметри транспортного потоку; структура парку пасажирських транспортних засобів; параметри пасажиропотоків; конструктивно-планувальні параметри пункту зупинки [2]. Запропонований поділ дозволив скласти класифікаційну схему, представлену рисунку 1.1.

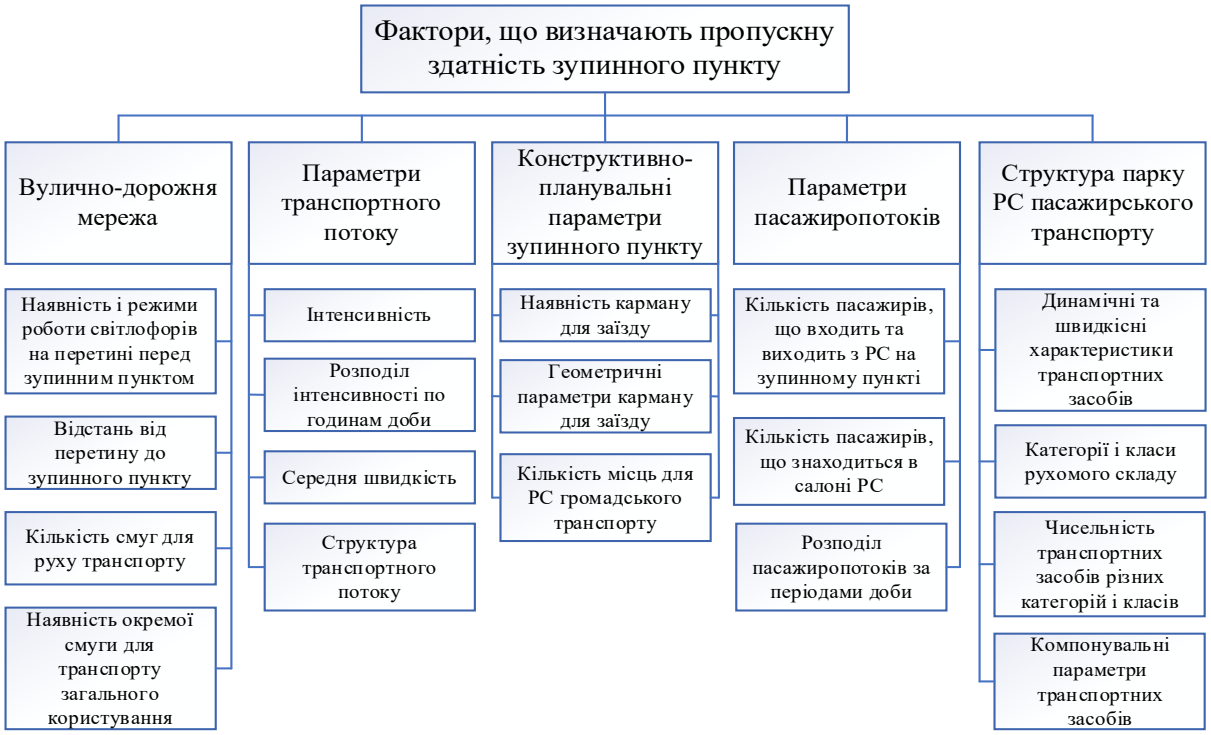


Рисунок 1 – Схема факторів, що визначають пропускну спроможність зупинного пункту МПТ

Ефективність тих чи інших способів підвищення пропускної здатності зупинних пунктів МПТ слід оцінювати виходячи з аналізу їх особливостей, переваг і недоліків. Аналізу можливих способів підвищення пропускної здатності зупинних пунктів МПТ наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1 - Результати аналізу способів підвищення пропускної здатності зупинних пунктів МПТ

Найменування	Особливості	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
1. Організація виділених смуг для громадського транспорту	Міський громадський пасажирський транспорт, рухаючись по виділеній смузі, не стоїть у дорожніх заторах разом із іншими транспортними засобами	1. Підвищення ефективності роботи міського пасажирського транспорту загального користування. 2. Зниження середньої тривалості поїздки одного пасажира. 3. Зниження негативного впливу міського пасажирського транспорту загального користування на довкілля.	1. Зниження загальної пропускної спроможності дороги. 2. Погіршення дорожніх умов власникам автомобілів.
2. Заборона паркування транспортних засобів на найбільш завантажених ділянках ВДМ	Паралельне застосування «перехоплюючих» паркувань за умови організації налагодженої роботи міського громадського пасажирського транспорту	1. Зниження навантаження на ВДМ та міську транспортну інфраструктуру. 2. Покращення екологічних показників міського транспортного комплексу.	1. Можливе погіршення транспортної доступності міської території.

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
3. Поділ посадкових місць на одному пункті зупинки	Поділ проводити за допомогою спеціальних знаків та огорожі	1. Скорочення витрат часу на посадку та висадку пасажирів. 2. Підвищення пропускної здатності зупинного пункту. 3. Підвищення продуктивності транспортних засобів міського пасажирського транспорту.	1. Збільшення розмірів та вартості улаштування зупинних пунктів. 2. Незручність посадки для пасажирів, які здійснюють вибір маршруту пересування з кількох альтернативних маршрутів.

Серед підходів до підвищення пропускної спроможності об'єктів транспортної інфраструктури вважаємо, що перспективним є застосування підходу, що передбачає реалізацію, головним чином, організаційних заходів, що зачіпають питання організації руху та організації роботи рухомого складу МПТ. Такий підхід не передбачає серйозних змін маршрутної мережі, ВДМ та структури парку транспортних засобів. Як наслідок, запропоновані заходи будуть менш капіталомісткими, що забезпечить їхню високу ефективність і дасть можливість швидкого впровадження.

Список використаних джерел

1. Вакуленко К. Є., Доля К. В. Управління міським пасажирським транспортом : навч. посібник. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 257 с.

2. Вдовиченко В.О., Підлубний С.Ю., Літинський М.В. Багаторівневе оцінювання впливу резерву пропускної спроможності зупинного пункту на сервісно-ресурсну ефективність міського пасажирського транспорту. *Вісник ХНАДУ*, вип. 108, 2025. С. 294-305. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2025.108.0.294

3. Кашканов В. А. Актуальність використання програм з імітаційного моделювання транспортних потоків для підготовки фахівців автотранспортної галузі. *Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Полтава, 20-21 березня 2023 року)*. Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. С. 403-407.

4. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. Організація автомобільних перевезень : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 139 с.

5. Кашканов В.А., Лужанський Д.М. Необхідність покращення ефективності організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міст. *Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 25-27 жовтня 2021 року: збірник наукових праць*. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 95-97.

Кашканов Віталій Альбертович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: v.kashkanov@vntu.edu.ua

Томляк Костянтин Іванович **–** магістрант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tomlyak521@gmail.com

Kashkanov Vitaliy A. **–** Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, Associate Professor, Department of Automobile and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: v.kashkanov@vntu.edu.ua

Tomlyak Kostyantyn I. **–** magistrant, Department of Automobile and Transport Management, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsia, e-mail: tomlyak521@gmail.com

УДК 656.13

А.А. Кашканова

ТЕХНОЛОГІЧНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ АУДИТУ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Представлено семимодульну архітектуру інтегрованої інформаційної системи для аудиту безпеки дорожнього руху, яка охоплює багатоканальний збір даних (ITS-сенсори, CCTV, дрони, crowdsourcing), їх обробку (GIS, Big Data/ML, API-інтеграція), збереження (хмара, локальні сервери, блокчейн), захист і передачу (MQTT/CoAP, VPN/TLS, RESTful API), а також Dashboard UI з механізмом зворотного зв'язку. Наведено сценарії пілотного аудиту й моніторингу.

Ключові слова: *інтегровані інформаційні системи, аудит безпеки дорожнього руху, GIS-аналітика, машинне навчання, зворотній зв'язок.*

A seven-module architecture of an integrated information system for road safety auditing is presented, which covers multi-channel data collection (ITS sensors, CCTV, drones, crowdsourcing), data processing (GIS, Big Data/ML, API integration), storage (cloud, local servers, blockchain), protection and transmission (MQTT/CoAP, VPN/TLS, RESTful API), as well as a Dashboard UI with a feedback mechanism. Pilot audit and monitoring scenarios are presented.

Keywords: *integrated information systems, road safety audit, GIS analytics, machine learning, feedback loop.*

В сучасних умовах стрімкого розвитку урбанізації та зростання транспортного навантаження питання безпеки дорожнього руху набуває критичного значення [1, 2]. Аудит безпеки дорожнього руху (БДР) потребує не лише експертної оцінки інфраструктури, а й системного підходу до збору, аналізу та інтерпретації даних [3, 4]. Саме інтегровані інформаційні системи (ІІС) стають ключовим інструментом для підвищення ефективності таких аудитів.

Інтегровані системи збору даних поєднують сенсорні технології, мобільні додатки, відеоспостереження та супутникову аналітику (табл. 1):

1. Інтелектуальні транспортні системи (ITS) – використовують GPS, LIDAR, радарні датчики та камери для фіксації швидкості, порушень ПДР, поведінки водіїв. ITS є основою для формування баз даних про трафік у реальному часі [5].
2. Crowdsourcing-платформи – Waze, Google Maps, Here збирають дані від користувачів про аварії, затори, небезпечні ділянки.
3. Дрони та супутникова зйомка – дозволяють моніторити інфраструктуру, стан покриття, зони з високим ризиком дорожньо-транспортних пригод (ДТП).
4. CCTV-системи – автоматизоване відеоспостереження на перехрестях, зупинках, пішохідних переходах для аналізу конфліктних ситуацій.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика ключових технологій збору даних

Технологія	Джерело даних	Переваги	Обмеження	Нормативи
ITS (сенсори, GPS, камери)	Інфраструктура, ТЗ	Висока точність, автоматизація	Вартість, потреба в обслуговуванні	ISO 39001, UNECE WP.29
Crowdsourcing (Waze, Google Maps)	Користувачі	Реальний час, охоплення	Суб'єктивність, неповнота	GDPR, ISO 27001
Дрони та супутники	Аерозйомка	Широкий огляд, доступ до важкодоступних зон	Погодні умови, вартість	ICAO, національні регламенти
CCTV	Камери на перехрестях	Візуальна фіксація, поведінковий аналіз	Обмеження приватності	ISO/IEC 29151, GDPR

Сучасні ІІС дозволяють глибоку обробку даних з використанням просторового аналізу,

машинного навчання та API-інтеграції (табл. 2) [6]:

1. GIS-платформи (ArcGIS, QGIS) – використовуються для побудови теплових карт ДТП, кластерного аналізу, виявлення зон ризику.
2. Big Data та AI – дозволяють виявляти поведінкові патерни, прогнозувати ризики, моделювати сценарії.
3. API-запити та веб-скрапінг – інтеграція з державними реєстрами ДТП, погодними базами, муніципальними порталами.
4. CMS/EDMS-системи – автоматизують документообіг, зберігання звітів, протоколів, аналітичних записів.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика ключових технологій обробки даних

Інструмент	Тип обробки	Переваги	Обмеження
ArcGIS / QGIS	Просторовий аналіз	Візуалізація, кластеризація	Потреба в геоданих
Big Data / ML	Прогнозування, класифікація	Виявлення патернів, масштабованість	Вимоги до обчислювальних ресурсів
API-запити	Інтеграція з відкритими базами	Актуальність, автоматизація	Залежність від доступності API
CMS / EDMS	Документообіг (ISO 30301:2020)	Стандартизація, контроль версій	Низька гнучкість для аналітики

Надійне зберігання даних – критично важливе для юридичної достовірності та міжвідомчої співпраці (табл. 3):

1. Хмарні платформи (Azure, AWS, Google Cloud) – забезпечують масштабованість, доступність, резервне копіювання [7].
2. Локальні сервери – використовуються для критичних даних, що потребують високого рівня захисту.
3. Блокчейн-технології – забезпечують незмінність записів, особливо в контексті правових доказів.

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика ключових технологій зберігання даних

Платформа	Тип зберігання	Переваги	Обмеження	Нормативна база
Azure / AWS / Google Cloud	Хмарне	Масштабованість, доступність	Залежність від інтернету	ISO 27001, SOC 2
Локальні сервери	Фізичне	Контроль, автономність	Витрати на обслуговування	ISO/IEC 27002
Блокчейн	Розподілене	Незмінність, прозорість	Експериментальність, складність	IEEE Blockchain Standards

Інтегровані системи передавання даних забезпечують оперативність та захист (табл. 4) [8]:

1. IoT-протоколи (MQTT, CoAP) – оптимізовані для сенсорних мереж, передають дані з мінімальними затримками.

Таблиця 4 – Порівняльна характеристика ключових технологій передавання даних

Протокол / Метод	Тип передачі	Переваги	Обмеження	Стандарти
MQTT / CoAP	IoT-протоколи	Низька затримка, енергоефективність	Обмежена безпека	IETF RFC 7252 / 8323
VPN / TLS/SSL	Захищені канали	Конфіденційність, автентифікація	Затримки, складність налаштування	ISO/IEC 27033
RESTful API	Інтеграція	Гнучкість, масштабованість	Залежність від сумісності	OpenAPI Specification

2. Захищені канали (VPN, TLS/SSL) – використовуються для передачі конфіденційної інформації між муніципалітетами, поліцією, аудиторами.

3. RESTful API – дозволяє інтеграцію між GIS, аналітичними платформами, системами управління дорожнім рухом.

Інформаційні системи повинні мати нормативну та сертифікаційну підтримку:

- ISO 39001:2012 – стандарт управління безпекою дорожнього руху, що визначає вимоги до політики, цілей, ризик-менеджменту.
- ISO 27001 – стандарт управління інформаційною безпекою, що регламентує захист даних у IT-системах.
- Національні реєстри ДТП (data.gov.ua) – джерело відкритих даних для аудиту, статистики, GIS-аналізу.

Інтеграція ІІС (рис. 1) дозволяє:

- Підвищити точність і об’єктивність аудитів.
- Забезпечити прозорість для муніципалітетів і громадськості.
- Формувати превентивні стратегії на основі даних (табл. 5).
- Оптимізувати витрати на аудит і реагування.

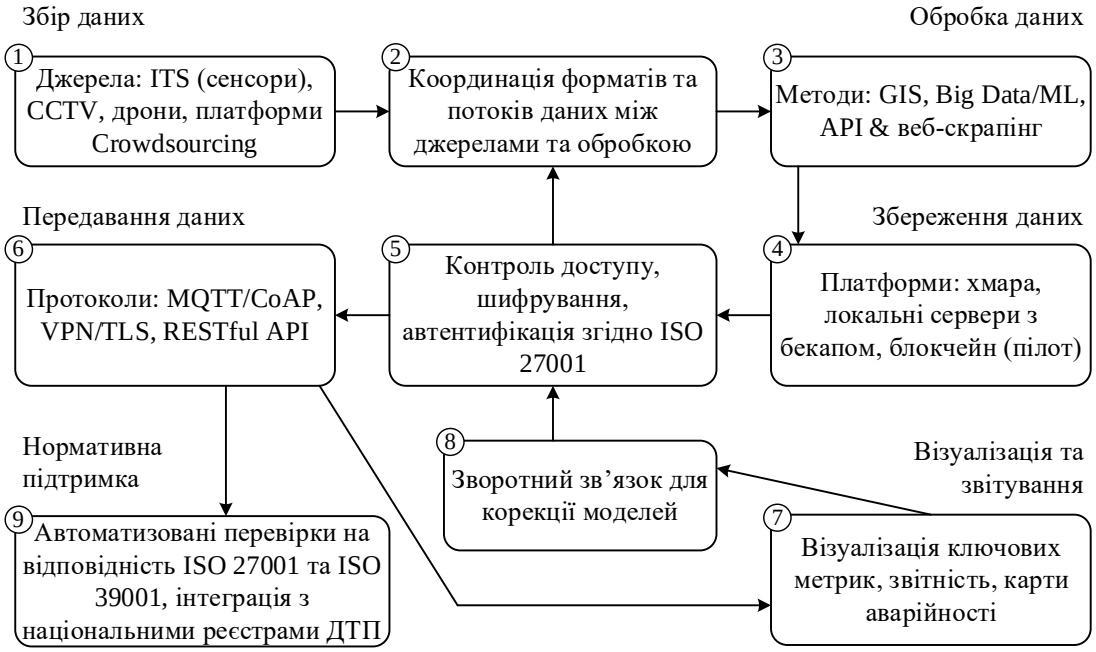


Рисунок 1 – Структура ІІС покращення технологій аудиту БДР

Таблиця 5 – Сценарії впровадження інтегрованої ІІС

Етап	Дія	Інструменти	Очікуваний результат
1. Пілотний аудит	Вибір 3-5 критичних ділянок у місті	GIS, відеоаналітика, дрони	Виявлення конфліктних точок
2. Інтеграція даних	Об’єднання даних ДТП, трафіку, погодних умов	RESTful API, CMS	Створення єдиної бази для аналізу
3. Аналітика	Побудова теплових карт, кластеризація	ArcGIS, ML-моделі	Прогнозування ризиків
4. Розробка рішень	Формування рекомендацій для інфраструктури	AIP-формат, Mathcad	Технічно обґрунтовані пропозиції
5. Впровадження	Реалізація змін: розмітка, освітлення, обмеження швидкості	Муніципальні бюджети, гранти	Зниження аварійності
6. Моніторинг	Постійний збір і аналіз нових даних	IoT-сенсори, EDMS	Оцінка ефективності заходів

Як видно з рис. 1, ІІС складається з 9 блоків:

Блок 1. Об'єднує гетерогенні джерела: ІТС-сенсори на транспорті та інфраструктурі фіксують швидкість, прискорення та порушення; CCTV дозволяє аналізувати конфлікти на перехрестях; дрони та супутникові знімки виявляють дефекти покриття та описують топографію; crowdsourcing через мобільні додатки доповнює офіційну статистику оперативними повідомленнями про аварії та затори.

Блок 2. Служить «мозком» інтеграції: перетворює та нормалізує вхідні потоки даних у єдиний формат, розподіляє навантаження на модулі обробки, забезпечує черговість обробки даних та моніторинг руху даних в ІІС.

Блок 3. GIS-платформи створюють просторові карти, корелюючи ДТП із геометрією доріг. ML-модулі аналізують патерни поведінки водіїв та прогнозують «гарячі» точки. API-модуль підтягує дані з реєстрів ДТП, метеобаз та міських порталів, оновлюючи базу в реальному часі.

Блок 4. Хмарні сервіси забезпечують масштабованість та високу доступність до даних. Локальні сервери із регулярним резервним копіюванням служать надійним «холодним» сховищем для критичних записів. Експериментальний блокчейн-фреймворк забезпечує незмінність ключових транзакцій та доказів.

Блок 5. Модуль контролює автентифікацію користувачів (OAuth 2.0), шифрування даних у транзиті та на зберіганні (AES-256, TLS1.3), а також управління ролями та правами відповідно до ISO 27001.

Блок 6. IoT-протоколи MQTT/CoAP оптимізовані для передавання сенсорних даних з мінімальними затримками. VPN/TLS гарантує конфіденційність для міжвідомчої взаємодії. RESTful API забезпечує гнучкий доступ до даних для зовнішніх сервісів та аналітичних платформ.

Блок 7. Інтерактивна веб-панель із ключовими метриками: кількість аварій, середня швидкість, зони підвищеного ризику. Можливість фільтрувати дані за часом, локацією, типом порушення; генерувати pdf-звіти для міських рад.

Блок 8. Автоматизований механізм порівняння прогнозів із реальними даними після впровадження рекомендацій. Дозволяє підвищувати точність моделей, коригувати обробку та рух даних, оновлювати інфраструктурні рішення.

Блок 9. На кожному етапі відбувається автоматизована перевірка на відповідність вимогам ISO 39001 (політики БДР) та ISO 27001 (інформаційна безпека). Інтеграція з національними реєстрами ДТП забезпечує юридичну достовірність даних.

Впровадження сучасних технологій має безпосередній вплив на БДР. Ці покращення можна згрупувати за такими напрямками:

1. Превентивне виявлення ризиків.

Відеоаналітика та AI-моделі дозволяють виявляти конфліктні точки (наприклад, небезпечні перехрестя) ще до того, як там станеться ДТП. Системи прогнозування на основі Big Data аналізують історичні дані та поведінкові патерни, щоб передбачити потенційні інциденти.

2. Зміна поведінки учасників руху.

Автоматизовані штрафи (через камери фіксації порушень) формують нову культуру відповідальності на дорогах. Мобільні додатки з попередженнями про небезпеку (наприклад, Waze) стимулюють водіїв до обережнішого стилю водіння.

3. Оптимізація міського планування.

GIS-аналіз дозволяє виявити зони з високою концентрацією ДТП і адаптувати інфраструктуру – змінити розмітку, додати освітлення, встановити світлофори. Сенсорні системи в Smart Cities забезпечують адаптивне регулювання світлофорів залежно від трафіку, що знижує ризик аварій.

4. Підвищення ефективності реагування.

Інтеграція з екстреними службами дозволяє швидше реагувати на ДТП – GPS-дані, відео з камер, автоматичне сповіщення. Дрони можуть оперативно оглядати місце події, оцінювати масштаби та передавати дані в реальному часі.

5. Зниження рівня ДТП та смертності.

За даними Укртрансбезпеки [9], понад 56% ДТП пов'язані з технічно застарілими ТЗ. Технології дозволяють моніторити технічний стан і своєчасно виводити небезпечні ТЗ з експлуатації. Smart-безпека – концепція, що охоплює особистий, колективний і масовий рівні

захисту, включаючи відеонагляд, аналітику та інженерні рішення.

6. Кримінологічний ефект.

Цифровізація безпеки сприяє зменшенню злочинності на автомобільному транспорті, оскільки порушення фіксуються автоматично, а правопорушники ідентифікуються швидше.

Перспективність даного підходу підтверджується практичною реалізацією деяких із запропонованих елементів в обласних центрах України. Наприклад, місто Вінниця активно впроваджує елементи Smart City, зокрема: інтелектуальні світлофори з адаптивним регулюванням руху; систему відеоспостереження на ключових перехрестях, інтегровану з муніципальним центром безпеки; GIS-аналіз ДТП у співпраці з Департаментом е-комунікацій; пілотні проекти з безпечного дизайну вулиць – зменшення ширини проїзної частини, підвищення видимості пішоходів. Ці заходи відповідають підходу «Vision Zero» та рекомендаціям EU Directive 2008/96/EC щодо аудиту інфраструктури. Крім того, ШІ допомагатиме оцінювати стан доріг у Вінниці [10]

Таким чином, ІІС – це не просто технологічне рішення, а стратегічний інструмент для формування безпечного транспортного середовища. Їх впровадження потребує міждисциплінарного підходу, нормативної підтримки та постійного вдосконалення.

Список використаних джерел

1. Кашканова А. А., Біліченко В. В. Аспекти забезпечення безпеки дорожнього руху в транспортних системах міст України. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2024, №1(22), С. 170-181. https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1358.

2. Кашканов А. А., Пальчевський О. В. Проблеми функціонування транспортних систем великих міст України в сучасних умовах. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2022, №1(18), С. 97-102. https://doi.org/10.36910/automash.v1i18.764.

3. Кашканова А. А. Методи аудиту безпеки дорожнього руху. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2025, №3, 855. https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/855.

4. Kashkanova A. Methods for assessing the risk of accidents in the driver-vehicle-road-environment system. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji, 2025. vol. 109, no 3, 41-61. https://doi.org/10.14669/AM/207102.

5. Madigan R., Louw T., Dziennus M., Graindorge T., Ortega E., Graindorge M., Merat N. Acceptance of Automated Road Transport Systems (ARTS): An Adaptation of the UTAUT Model. Transportation Research Procedia. 2016, 14, pp. 2217-2226. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.237.

6. Javed A.R., Ahmed W., Pandya S., Maddikunta P.K.R., Alazab M., Gadekallu T.R. A Survey of Explainable Artificial Intelligence for Smart Cities. Electronics. 2023, 12, 1020. https://doi.org/10.3390/electronics12041020.

7. Zhang X., Lai J., Moshayedi A.J. Traffic data security sharing scheme based on blockchain and traceable ring signature for VANETs. Peer-to-Peer Networking and Applications. 2023, 16, 2349–2366. https://doi.org/10.1007/s12083-023-01532-7.

8. Довженко Н. М., Мазур Н. П., Костюк Ю. В., Рзаєва С. Л. Інтеграція IoT та штучного інтелекту в інтелектуальні транспортні системи. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2024. 2(26), с. 430-444. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.26.708.

9. Аналіз стану безпеки руху та аварійності на наземному транспорті в Україні за 2024 рік. Київ: Державна служба України з безпеки на транспорті. 2024. 46 с.

10. Гуфельд К. AI допомагатиме оцінювати стан доріг у Вінниці. Веб-сайт. URL: https://presspoint.in.ua/2025/09/19/ai-dopomahatyme-otsiniuvaty-stan-dorih-u-vinnytsi/ (дата звернення 25.09.2025).

Кашканова Анастасія Андріївна – аспірантка кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kashkanov9a@gmail.com

Kashkanova Anastasiia – Postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: kashkanov9a@gmail.com

УДК 629.3.027.4

Е.С. Клімов, А.П. Солтус

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВІЗКА ТРИОСЬОВОГО АВТОМОБІЛЯ НА КІНЕМАТИКУ ТА ДИНАМІКУ КОЛІС ПІД ЧАС РУХУ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ ТРАЄКТОРІЇ

Розглянуто особливості руху коліс візка триосьового автомобіля по криволінійній траєкторії, що спричинюють збільшення мінімального радіуса повороту автомобілів та унеможливлюють їх експлуатацію на дорогах з низьким коефіцієнтом зчеплення та малими радіусами кривизни. Визначено вплив коліс візка триосьового автомобіля під час руху по криволінійній траєкторії на кінематику та динаміку керованих коліс.

Ключові слова: *триосьовий автомобіль, візок, керовані колеса, бічна сила, поздовжня сила, момент закручування*

The features of the movement of the bogie wheels of a three-axle vehicle along a curved trajectory are considered, which cause an increase in the minimum turning radius of vehicles and make their operation on roads with a low friction coefficient and small radii of curvature impossible. The influence of the bogie wheels of a three-axle vehicle during movement along a curved trajectory on the kinematics and dynamics of the steered wheels is determined.

Keywords: *three-axle vehicle, bogie, steered wheels, lateral force, longitudinal force, twisting moment*

Наявність у триосьових транспортних засобів візка з двома некерованими осями спричинює під час руху по криволінійній траєкторії момент опору повороту візка та спричинених ним значних бічних та поздовжніх сил на колесах автомобіля. [1–4]. Це призводить до збільшення мінімального радіуса повороту автомобілів та унеможливлює їх експлуатацію на дорогах з низьким коефіцієнтом зчеплення та малими радіусами кривизни. Тому визначення впливу візка триосьового автомобіля на кінематику та динаміку коліс під час руху по криволінійній траєкторії є актуальною задачею.

Розглянемо особливості руху коліс візка триосьового автомобіля по криволінійній траєкторії на горизонтальній дорозі з асфальтобетонним покриттям з малою постійною швидкістю без урахування сил інерції. Уважатимемо, що кути відведення коліс візка під час руху по криволінійній траєкторії не перевищують 5°. За таких умов у контактному відбитку шини наявні тільки зони зчеплення, а коефіцієнт опору бічному відведенню приймається постійною величиною. З урахуванням викладеного на рис. 1 наведено схему для визначення особливостей руху коліс візка триосьового автомобіля по криволінійній траєкторії.

З аналізу на рис. 1, видно, що центри коліс візка, точки B, C, D, E, рухаються по траєкторіям радіусів відповідно OB, OC, OD, OE. З точки зору класичної механіки рух центрів коліс B та C внутрішнього борта візка складається із руху по криволінійній траєкторії радіуса R = AO та руху відносно центра, точки A, по радіусу $l_в/2$, де $l_в$ – база візка. Рух центрів коліс D та E зовнішнього борта візка складається із руху по криволінійній траєкторії радіуса OF= $R + K_в$, де $K_в$ – колія коліс візка, та руху відносно центра, точки F, по радіусу $l_в/2$.

За наявності еластичних шин відносний рух кожного із коліс візка відбувається з відведенням. Так, колеса візка з центрами B та C рухаються з кутом відведення в градусах $\delta_B = \delta_C = \frac{57{,}3 l_в}{2R}$, а колеса з центрами D та E – з кутом $\delta_D = \delta_E = \frac{57{,}3 l_в}{2(R+K_в)}$ [1, 4]. Такий рух коліс з кутами відведення спричинить з боку опорної поверхні бічні реакції $\bar{R}_B$, $\bar{R}_C$, $\bar{R}_D$, $\bar{R}_E$, прикладені до центрів контактних відбитків, та стабілізуючі моменти шин $\bar{M}_{шB}$, $\bar{M}_{шC}$, $\bar{M}_{шD}$, $\bar{M}_{шE}$ відносно вертикальних осей, що проходять через центри контактних відбитків.[1, 4]. Ураховуючи напрямки дії стабілізуючих моментів шин на кожному колесі, результуючий стабілізуючий момент шин дорівнює нулю.

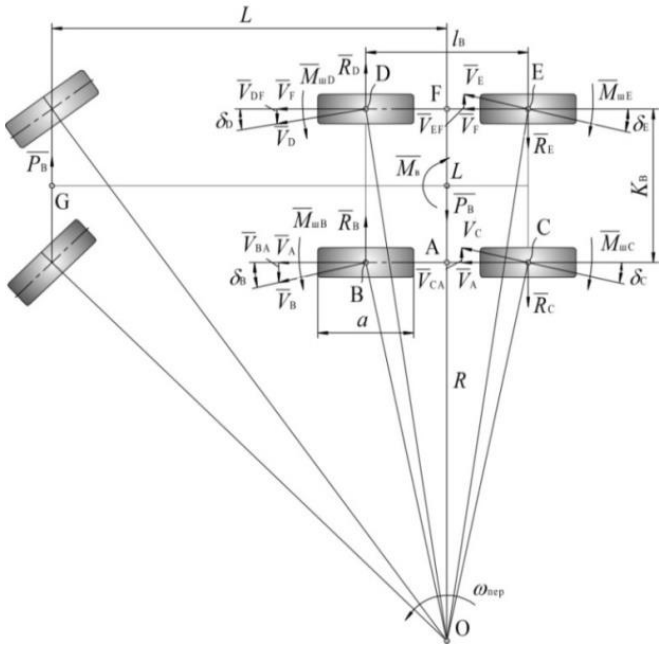


Рисунок 1 – Схема для визначення особливостей руху коліс візка триосьового автомобіля по криволінійній траєкторії

Із наведено випливає, що рух колеса візка по криволінійній траєкторії автомобіля складається із руху по криволінійній траєкторії центра відповідного борта та з додатковим кутом відведення, зумовленим поздовжнім зміщенням колеса відносно центра переносного руху колісної машини.

Щодо бічних реакцій, то, з урахуванням прийнятих припущень, вони визначаться за виразами:

$$R_B = R_c = \frac{57,3}{2} k_в l_в \left(\frac{1}{R}\right), \tag{1}$$

$$R_D = R_E = \frac{57,3}{2} k_в l_в \left(\frac{1}{R+K_в}\right), \tag{2}$$

де $k_в$ – коефіцієнт опору бічному відведенню колеса візка, Н/град.

Оскільки бічні реакції R_B та R_D протилежно напрямлені реакціям R_C та R_E, паралельні між собою та діють на відстані бази візка, то утворюють момент опору повороту візка, який визначиться так:

$$\mathrm{M_в} = (R_B + R_D) l_в = \frac{57,3 k_в l_в^2}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R+K_в}\right). \tag{3}$$

На керованому мосту автомобіля цей момент спричинить бічну силу, перпендикулярну остову автомобіля:

$$P_в = \frac{57,3 k_в l_в^2}{2L} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R+K_в}\right), \tag{4}$$

де L – база автомобіля.

Сила $P_в$ діє на керований міст, спричинюючи зміну динамічних та кінематичних параметрів керованих коліс.

На рис. 2 наведено схему для дослідження кінематики та динаміки керованих коліс повнопривідного автомобіля під час руху ліворуч по криволінійній траєкторії.

Із аналізу рис. 2 видно лівостороннє розміщення кермового колеса, а ліве внутрішнє до центра повороту кероване колесо повернуто безпосередньо силовим циліндром на максимальний кут $\theta_в$, обмежений упором диска колеса в обмежувач. Кут повороту правого, зовнішнього до центра повороту колеса $\theta_з$, буде формуватися кінематикою кермової трапеції та впливом візка. До центра рами над керованим мостом у точці О прикладено силу $P_в$, яка перпендикулярна поздовжній осі рами. Якщо середній кут повороту керованих коліс $\theta = (\theta_в + \theta_з)/2$, то силу $P_в$ розкладемо на дві сили: бічну силу $P_б = P_в \cos\theta$ та поздовжню $P_п = P_в \sin\theta$ (рис. 2 б).

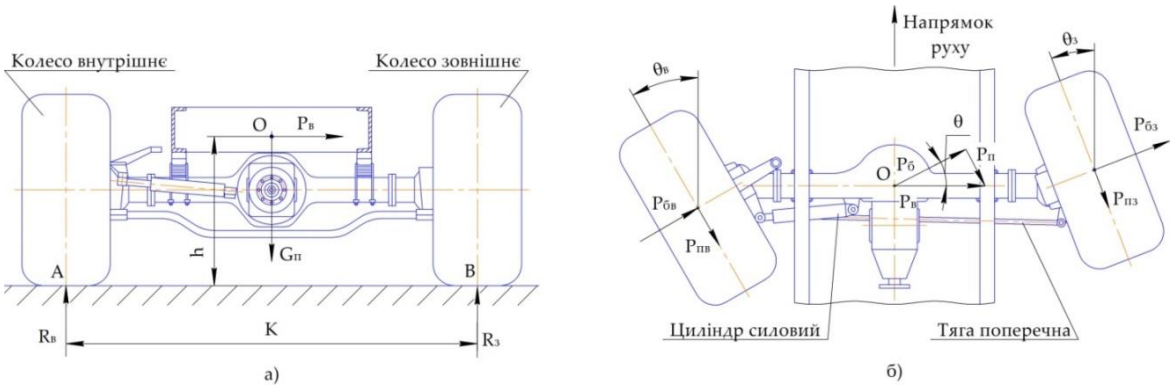


Рисунок 2 – Схема кінематики та динаміки керованих коліс під час руху ліворуч по криволінійній траєкторії

Бічна сила $P_б$, діючи на керовані колеса, зумовлює їх рух з відведенням та зміну нормальних реакцій на керованих колесах. При цьому нормальна реакція на внутрішньому колесі зменшується, а на зовнішньому збільшується. Кут відведення на внутрішньому керованому колесі визначимо за виразом: $\delta_{кв} = \frac{P_б}{2k_{вв}}$, де $k_{кв}$ – коефіцієнт опору бічному відведенню внутрішнього керованого колеса, Н/град. На зовнішньому керованому колесу цей кут відведення буде: $\delta_{зк} = \frac{P_б}{2k_{вз}}$, де $k_{вз}$ – коефіцієнт опору бічному відведенню зовнішнього керованого колеса, Н/град.

Поздовжня сила $P_п$ утворить відносно осі шворня момент закручування, який, згідно з [1], з достатньою для практики точністю, визначимо за виразом:

$$M_з = \frac{P_п}{2} l_ц \cos(\alpha_ш + \gamma_{ш0}), \tag{5}$$

де $l_ц$ – довжина цапфи, м; $\alpha_ш$ – кут поперечного нахилу шворня, град; $\gamma_{ш0}$ – кут розвалу колеса у положенні прямолінійного руху, град.

Прикладений до зовнішнього колеса момент $M_з$ відносно осі шворня спричинить, за рахунок деформації кермової трапеції та закручування шини відносно жорсткого диска, зменшення кута повороту зовнішнього колеса. У цьому випадку закручування шин спричинить зміну кута повороту внутрішнього керованого колеса на величину $\Delta\theta_{шв} = \frac{M_з}{C_{\theta в}}$, де $C_{\theta в}$ – кутова жорсткість шини внутрішнього керованого колеса відносно вертикальної осі, Н·м/град. Відповідно зміна кута повороту зовнішнього колеса буде на кут $\Delta\theta_{шз} = \frac{M_з}{C_{\theta з}}$, де $C_{\theta з}$ – кутова жорсткість шини зовнішнього керованого колеса відносно вертикальної осі, Н·м /град.

На колеса візка, згідно з рис. 1, діє сила $P_в$, напрямлена до центра повороту, точки О, яка спричинить рух коліс візка з кутом відведення, який визначимо за виразом:

$$\delta_в = \frac{P_в}{4k_в}, \tag{6}$$

де $k_в$ – коефіцієнт опору бічному відведенню колеса візка, Н/град.

Водночас передній та задній мости візка будуть рухатись, згідно з рис. 1, з різними кутами відведення, оскільки кут відведення коліс переднього моста є сумою кутів від плоско-паралельного руху з відведенням та кутом відведення від дії сили $P_в$. Кут відведення коліс заднього моста дорівнює різниці цих кутів. Кути відведення коліс передньої та задньої осей візка визначаться за виразами:

$$\sum \delta_п = \frac{(\delta_B + \delta_D)}{2} + \delta_в, \tag{7}$$

$$\sum \delta_з = \frac{(\delta_C + \delta_E)}{2} - \delta_в, \tag{8}$$

де $\sum \delta_п$, $\sum \delta_з$ – кути відведення коліс відповідно переднього та заднього мостів візка під час руху по криволінійній траєкторії.

З наведеного випливає, що колеса середнього моста рухаються з більшим кутом відведення відносно коліс заднього моста візка.

Аналіз вище наведеного дозволяє сформулювати наступні висновки:

1. Рух колеса візка з некерованими осями по криволінійній траєкторії автомобіля складається із руху по криволінійній траєкторії центра відповідного борта та із руху з кутом відведення, обумовленим поздовжнім зміщенням колеса відносно центра переносного руху колісної машини.

2. Бічні реакції на колесах візка, зумовлені рухом коліс візка з відведенням, спричинять момент опору повороту візка відносно вертикальної осі, що проходить через його центр. Цей момент спричинить сили перпендикулярні остову автомобіля, одна із яких діє на керований міст, а інша – на колеса візка.

3. Сила на керованому мосту пропорційна коефіцієнту опору бічному відведенню коліс візка, квадрату бази візка, кривизні траєкторії руху центрів бортів візка та обернено пропорційна базі автомобіля. Вона розкладається на бічну та поздовжню. Бічна сила спричинює рух керованих коліс з відведенням, збільшує навантаження на зовнішнє кероване колесо та зменшує на внутрішнє. Поздовжня сила утворює момент закручування відносно осі шворня, вплив якого на кінематику керованих коліс залежить від жорсткості та кінематики кермової трапеції як просторового чотириланкового механізму та жорсткості шини.

4. Сила, що діє на колеса візка, є бічною та спричинює рух коліс візка з кутом відведення. Цей кут спричинить рух коліс середнього моста візка з більшим кутом відведення відносно коліс заднього моста візка.

Список використаних джерел

1. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля. Київ: Арістей, 2010. 155 с.

2. Fancher P. Winkler C. Directional performance issues in evaluation and design of articulated heavy vehicles. *Vehicle System Dynamics*. 2007. Vol. 45, No. 7–8. P. 607–647. https://doi.org/10.1080/00423110701422434.

3. Zhang Y., Huang Y., Wang, H. & Khajepour A. A comparative study of equivalent modelling for multi-axle vehicle. *Vehicle System Dynamics*. 2017. 56(3), P. 443–460. https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1387277.

4. Vasyl Mateichyk, Anatolii Soltus, Eduard Klimov, Miroslaw Smieszek, Nataliia Kostian, Liudmyla Tarandushk2 and Nazar Marchuk.Study of the Influence of the Two Drive Axle Bogie Parameters on the Three-Axle Vehicle Handling.Machines 2025, 13, 394. https://doi.org/10.3390/ machines 13050394

Клімов Едуард Сергійович **–** кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: edward.klimov@gmail.com

Солтус Анатолій Петрович **–** доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, e-mail: auto.soltus@gmail.com

Eduard Klimov S. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Head of Automobiles and Tractors Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: edward.klimov@gmail.com

Anatolii Soltus P. **–** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Cars and Technologies of Their Operation Department, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, e-mail: auto.soltus@gmail.com

УДК 004.896:004.032.26:658.7:656.1

С.Г. Ковальов, В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, Ю.Г. Ковальов

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Розглянуто застосування методу навчання з підкріпленням (reinforcement learning, НП) для підвищення ефективності роботи автоматизованих виробничих ліній. Сформовано концептуальну модель взаємодії агента з виробничим середовищем, що описує процеси прийняття рішень у циклічному режимі. Для реалізації системи навчання використано алгоритм Deep Q-learning (DQN), який поєднує підхід Q-таблиці з можливостями нейронних мереж. Запропоновано структуру моделі у вигляді графа, де вузли відображають окремі одиниці обладнання, а їхні стани визначають ефективність функціонування виробничої системи. Розроблено набір дій агента, систему винагород і штрафів, що забезпечує самооптимізацію процесів. На основі комп'ютерного моделювання із застосуванням бібліотек Python (NumPy, TensorFlow, Matplotlib) підтверджено доцільність використання методу НП, який дозволяє мінімізувати час простоїв і зменшити тривалість технологічного циклу. Отримані результати доводять перспективність інтеграції інтелектуальних алгоритмів у системи керування виробництвом для підвищення їхньої надійності, продуктивності та адаптивності.

Ключові слова: *навчання з підкріпленням; Deep Q-learning; агент; оптимізація виробничих процесів; автоматизована виробнича лінія; інтелектуальні системи; штучний інтелект; моделювання; Python.*

The application of the reinforcement learning method (RL) to improve the efficiency of automated production lines is considered. A conceptual model of the interaction of the agent with the production environment is formed, which describes the decision-making processes in a cyclic mode. The Deep Q-learning (DQN) algorithm is used to implement the training system, which combines the Q-table approach with the capabilities of neural networks. A model structure in the form of a graph is proposed, where nodes reflect individual units of equipment, and their states determine the efficiency of the production system. A set of agent actions, a system of rewards and penalties is developed, which ensures self-optimization of processes. Based on computer modeling using Python libraries (NumPy, TensorFlow, Matplotlib), the feasibility of using the RL method is confirmed, which allows minimizing downtime and reducing the duration of the technological cycle. The results obtained prove the prospects of integrating intelligent algorithms into production control systems to increase their reliability, productivity, and adaptability.

Keywords: *reinforcement learning; Deep Q-learning; agent; production process optimization; automated production line; intelligent systems; artificial intelligence; modeling; Python.*

Використання методу навчання з підкріпленням (НП) розглядається як один із найперспективніших підходів до підвищення ефективності функціонування виробничих ліній. Такий метод може бути реалізований у формі програмного забезпечення, інтегрованого безпосередньо у виробничу систему.

Сутність методу полягає у роботі програмного агента в межах певного середовища. Його взаємодія з цим середовищем має циклічний характер.

На першому етапі циклу агент отримує інформацію про поточний стан середовища. У контексті оптимізації ефективності автоматизованої виробничої лінії саме ця лінія виступає середовищем, а її параметри описують стан агента.

На другому етапі визначається множина дій, які агент може виконати в даному стані. Для цього використовують Q-таблицю або нейронну мережу (НМ), що виконує її функції. У випадку, коли Q-таблиця реалізована через нейронну мережу, застосовується підхід глибокого навчання з підкріпленням (Deep Q-learning, DQN).

На основі політики (policy) агент обирає одну з можливих дій та реалізує її.

Після виконання дії, на третьому етапі, агент отримує винагороду від середовища, яка відображає якість прийнятого рішення. Отримані проміжні винагороди накопичуються та

сумуються, формуючи довготривалу винагороду, що використовується для корекції параметрів Q-таблиці й удосконалення стратегії агента. Таким чином, метод навчання з підкріпленням забезпечує поступову оптимізацію поведінки агента та ефективності роботи виробничої лінії.

Для коректного застосування НП до задач оптимізації автоматизованої виробничої лінії необхідне адекватне моделювання середовища, яке описує логіку її функціонування. Модель виробничої лінії може бути подана у вигляді графа, вершини якого відповідають окремим вузлам або одиницям обладнання, що виконують визначені технологічні операції.

Кожна вершина характеризується низкою параметрів, що впливають на ефективність системи: середній час виконання операції, тривалість простою, час налаштування, очікування між операціями, а також послідовність виробничих етапів. Для оцінки надійності додатково враховуються показники довговічності, середнього часу між відмовами, часу відновлення та збережуваності.

Для перевірки запропонованого підходу проведено комп'ютерну симуляцію процесу оптимізації часу виробництва із застосуванням алгоритму DQN. Реалізацію симуляції виконано мовою програмування Python із використанням бібліотек NumPy, TensorFlow та Matplotlib.

Процес моделювання включав кілька основних етапів: підготовку вхідних даних; моделювання середовища; побудову агента DQN; реалізацію алгоритму навчання; оцінку результативності.

У межах експерименту було змодельовано виробничу лінію, що складається з восьми вузлів: трьох вузлів для виконання першої операції, чотирьох – для другої та двох – для третьої.

Моделювання середовища здійснювалося через створення класу Production Environment, який визначає множину можливих дій, станів, систему винагород і штрафів агента:

— Дії агента:

1. Виконання операції у штатному режимі:

– операція здійснюється у вузлі, який перебуває у стані w-rking;

– тривалість виконання зменшується приблизно на 10%, що відображає ефект оптимізації.

2. Зупинка для проведення планового технічного обслуговування (ТО):

– вузол переходить у стан planned maintenance;

– дія спрямована на проведення профілактичного обслуговування, після якого вузол повертається до робочого стану.

3. Аварійна зупинка вузла (ремонт):

– вузол переходить у стан repairing;

– аварія потребує додаткового часу для відновлення працездатності.

4. Простій вузла:

– вузол змінює стан на idle;

– простій може бути спричинений, наприклад, очікуванням матеріалів або затримкою на попередньому етапі виробництва.

5. Ігнорування планового ТО:

– вузол залишається у стані w-rking, навіть якщо настав час технічного обслуговування;

– така дія збільшує ризик виникнення передаварійного або аварійного стану.

— Стан вузлів

1. Робочий стан (w-rking): вузол функціонує нормально та виконує виробничі операції.

2. Планове технічне обслуговування (planned maintenance): вузол тимчасово виведено з експлуатації для профілактичних робіт.

3. Передаварійний стан (pre failure): спостерігається підвищена ймовірність виникнення поломки.

4. Аварійний стан (failure): вузол повністю зупиняється через несправність та потребує ремонту.

5. Ремонт (repairing): відбувається усунення наслідків аварії та відновлення працездатності вузла.

6. Простій (idle): вузол не виконує операцій через відсутність матеріалів або через зупинку суміжних вузлів у системі.

— Винагороди та штрафи:

1. Виконання операції у штатному режимі:

– винагорода має від'ємне значення, пропорційне часу виконання операції;

– чим менший час виконання, тим більшою є загальна ефективність (максимізація швидкодії).

2. Планове технічне обслуговування: штраф становить –3 за кожен цикл, витрачений на обслуговування.

3. Аварійна ситуація (ремонт):

– нараховується штраф –10 за аварію;

– додатково збільшується загальний час виконання операцій через затримки на ремонт.

4. Простій: штраф –2 за кожен цикл простою (idle).

5. Ігнорування планового ТО:

– безпосередньої винагороди або штрафу не нараховується;

– водночас зростає імовірність переходу вузла у стан pre failure або failure, що призводить до подальших штрафів.

6. Передаварійний стан: якщо вузол переходить у failure, застосовується штраф –5.

У разі повернення до стану working винагорода не нараховується, проте агент уникає більших втрат.

У ході комп'ютерного експерименту, реалізованого відповідно до критерію (3), було отримано залежність помилки функціонування нейронної мережі в межах алгоритму агента DQN. Аналіз результатів показав стабільне зменшення помилки під час навчання, що свідчить про позитивний ефект застосування алгоритму навчання з підкріпленням для задач оптимізації часу виробничого процесу.

Таким чином, проведене дослідження підтвердило ефективність запропонованого підходу до оптимізації виробничих процесів на основі навчання з підкріпленням. Використання алгоритмів типу DQN дозволило істотно скоротити час виконання операцій, зменшити простої та підвищити продуктивність автоматизованої виробничої лінії. Застосування моделювання поведінки агента дало змогу сформувати адаптивні стратегії обслуговування та управління вузлами, що підвищує їхню надійність і довговічність. Результати демонструють, що інтеграція інтелектуальних алгоритмів у виробничі системи робить їх більш стійкими до змін умов роботи. Отримані наукові результати сприяють подальшому розвитку методів управління виробничими лініями з використанням технологій штучного інтелекту. Вони створюють основу для розробки нових поколінь автоматизованих систем, які характеризуються високою ефективністю, адаптивністю та надійністю.

Список використаних джерел

1. Інтеграція штучного інтелекту в системи підтримки прийняття рішень в оптимізації виробничих процесів машинобудівного підприємства на прикладі машинного навчання / Р. Ю. Бойко, В. В. Аулін, А. А. Тихий [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 2. - С. 95-103.

2. Підвищення надійності та ефективності експлуатації виробничих ліній методами штучного інтелекту, використовуючи моніторинг акустичних сигналів / С. Г. Ковальов, В. В. Аулін, А. В. Гриньків, В. В. Варваров // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 2. - С. 142-151.

3. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.

4. Формування логістичної інформаційної системи ефективного управління транспортними і виробничими підприємствами / В. В. Аулін, О. Л. Ляшук, А. В. Гриньків [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 9(40). - Ч. 2. - С. 204-218.

5. Алгоритм оптимізації надійності функціонування та ефективності використання виробничого обладнання методами штучного інтелекту / В. В. Аулін, С. Г. Ковальов, А. В. Гриньків, В. В. Варваров // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 1. - С. 60-67.

Ковальов Сергій Григорович **–** к.п.н., доц. кафедри вищої математики та фізики, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: Kovalyovserggr@ukr.net

Аулін Віктор Васильович **–** д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: aulinvv@gmail.com

Ляшук Олег Леонтійович **–** д.т.н., професор, перший проректор Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Ковальов Юрій Григорович **–** к.т.н., доцент, доц. кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: yukovalyov@ukr.net

Kovalyov Serhii H. – Ph.D., Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Physics, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: Kovalyovserggr@ukr.net

Aulin Viktor V. – Dr. of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: aulinvv@gmail.com

Lyashuk Oleh L. – Dr. of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector of Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Kovalyov Yuriy H. – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Materials Science and Foundry, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: yukovalyov@ukr.net

УДК 621.436

І.В. Ковальчук, І.В. Мамківський

ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ ПРИ РОБОТІ ДВИГУНА ЗА ДИЗЕЛЬНИМ І ГАЗОДИЗЕЛЬНИМ ЦИКЛАМИ

Розглянуто вплив переведення дизельного двигуна на роботу в газодизельному циклі. Проведено порівняльний аналіз екологічних показників при роботі за дизельним і газодизельним циклами. Визначено, що використання природного газу зменшує шкідливі викиди та забезпечує економію палива, що підтверджує доцільність переобладнання дизельних двигунів вантажних автомобілів.

Ключові слова: *дизельний двигун, газодизельний цикл, природний газ, шкідливі викиди, паливна економічність, екологічність, переобладнання, автотранспорт*

The influence of converting a diesel engine to operate in a gas-diesel cycle has been considered. A comparative analysis of environmental performance under diesel and gas-diesel operation modes was conducted. It was determined that the use of natural gas reduces harmful emissions and improves fuel efficiency, confirming the feasibility of converting diesel engines of heavy vehicles.

Keywords: *diesel engine, gas-diesel cycle, natural gas, harmful emissions, fuel efficiency, environmental performance, conversion, motor transport*

Початок XX століття ознаменувався стрімким автомобільним прогресом. Разом з тим як збільшився попит на автомобілі, та перевезення взагалі, цілком логічно що і збільшилося видобування та споживання нафтової продукції. В свою чергу нафтові запаси не безкінечні, вони стрімко зменшуються, що змушує шукати альтернативні методи в використанні палива.

Водночас з проблемою залежності від нафтового палива, перед людством стоять екологічні проблеми. Викиди автотранспорту становлять $\frac{1}{3}$ від загальних викидів що забруднюють атмосферу.

Усвідомлюючи ці дві проблеми автомобільний транспорт потребує замінника традиційним моторним паливам нафтового походження. Найбільш підходящим для вирішення цього питання є переобладнання дизельних двигунів на роботу в газодизельному циклі. Оскільки, при використанні природного газу, найменше шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Тому переведення з дизеля на газодизель, вирішить одразу питання економії та екології.

Для повного розуміння усіх аспектів переобладнання дизеля в газодизель необхідно дослідити екологічні показники автомобіля під час експлуатації. Після проведення розрахунків на математичній моделі, було виявлено масові викиди оксиду вуглецю, оксиду азоту, вуглеводні, твердих частинок С, викиди шкідливих речовин (ШР) при русі за міським їздовим циклом при різних навантаженнях згідно з ГОСТ 20306-90. У таблиці 1 представлені шкідливі речовини за ступенем впливу на організм та його агресивністю.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів відносної агресивності R основних шкідливих речовин

№	Шкідлива речовина	R
1	Оксид вуглецю, CO	1,0
2	Оксид азоту у перерахунку за масою на NO_2	41,1
3	Леткі низько молекулярні вуглеводні C_mH_n	3,16
4	Сажа без домішок С	41,5

На основі масових викидів шкідливих речовин, з урахуванням їх шкідливості, були розраховані загальні викиди, зведені до оксиду вуглецю (CO) в умовних грамах за цикл. У таблицях 2 та 3 показано, як змінюються викиди CO, вуглеводнів (C_mH_n), оксидів азоту (NO_x), твердих частинок (С) та їх сумарне значення в залежності від навантаження. На основі цих даних побудовано графіки залежності сумарних викидів шкідливих речовин від навантаження (рис. 1 та 2).

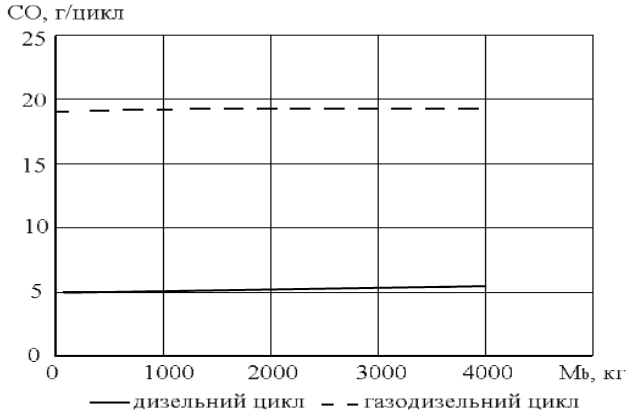


Рисунок 1 - Залежність масових викидів CO за цикл, в залежності від навантаження при роботі двигуна за дизельним і газодизельним циклами.

Таблиця 2 - Значення викидів ШР та сумарних питомих викидів, приведених до оксиду вуглецю ΣCO з урахуванням коефіцієнтів відносної агресивності за їздовий цикл в залежності від завантаження при роботі двигуна за дизельним циклом.

Параметр	M_b, кг				
	0	1000	2000	3000	4000
CO, г/цикл	4,9522	5,0482	5,16	5,2881	5,2881
C_mH_n, г/цикл	0,0734	0,0747	0,0759	0,0771	0,0783
ΣC_mH_n, г/цикл	0,0259	0,0245	0,0234	0,0225	0,0219
NO_x, г/цикл	4,8996	5,3791	5,8763	6,3943	6,94
C, г/цикл	0,00012	0,00015	0,0002	0,0002	0,00023
ΣCO,у.г/цикл (C_mH_n)	206,563	226,37	246,92	268,34	290,78
ΣCO,у.г/цикл(ΣC_mH_n)	206,413	226,21	246,75	268,17	290,6

Таблиця 3 – Значення викидів ШР та сумарних питомих викидів, приведених до оксиду вуглецю ΣCO з урахуванням коефіцієнтів відносної агресивності за їздовий цикл в залежності від завантаження при роботі двигуна за газодизельним циклом.

Параметр	M_b, кг				
	0	1000	2000	3000	4000
1	2	3	4	5	6
CO, г/цикл	18,99	19,17	19,18	19,2	19,3
C_mH_n, г/цикл	1,9	1,9786	2,02	2,03	2,07
ΣC_mH_n,г/цикл	6,005	6,2366	6,29	6,33	6,38
NO_x, г/цикл	3,48	3,9	4,3	4,7	4,96
C, г/цикл	0,00007	0,00008	0,00008	0,00009	0,00009
ΣCO,у.г/цикл (C_mH_n)	168,39	185,75	202,69	219,17	229,61
ΣCO,у.г/цикл (ΣC_mH_n)	181,34	199,2	216,32	232,64	243,25

Характер зміни масових викидів CO при різних навантаженнях практично однаковий для дизельного та газодизельного циклів. Проте при роботі за газодизельним циклом концентрація CO у середньому в 3,5 раза вища — до 19,3 г/цикл проти 5,43 г/цикл у дизельному режимі при навантаженні 4000 кг. Викиди вуглеводнів (CmHn), виміряні методом інфрачервоної спектроскопії, також помітно вищі в газодизельному циклі на всьому діапазоні навантажень, досягаючи максимуму 2,07 г/цикл при 4000 кг. Аналогічну тенденцію демонструють сумарні вуглеводні (ΣCmHn), визначені методом полум'яно-іонізаційного допалювання: при газодизельному циклі їх значення значно більші — до 6,38 г/цикл проти лише 0,0219 г/цикл у дизельному.

Підвищені показники CO та CmHn у газодизельному циклі пояснюються менш повним згорянням паливно-повітряної суміші через нижчу температуру процесу. Це спричиняє накопичення частини незгорілих вуглеводнів у відпрацьованих газах. У дизельному циклі згоряння проходить інтенсивніше, що зменшує частку неповного згоряння, але одночасно підвищує утворення оксидів азоту (NOx). Максимальні викиди NOx при дизельному циклі становлять 6,94 г/цикл проти 4,96 г/цикл у газодизельному режимі при завантаженні 4000 кг.

Щодо твердих частинок (C), при газодизельному циклі їх рівень майже стабільний — від 0,00007 г/цикл без навантаження до 0,000085 г/цикл при повному. У дизельному режимі спостерігається постійне зростання, і при навантаженні 4000 кг показник досягає максимуму 0,000225 г/цикл. На рисунку 2 пунктиром позначено сумарні питомі викиди, перераховані до ΣCO, з урахуванням ΣCmHn, виміряних методом полум'яно-іонізаційного аналізу.

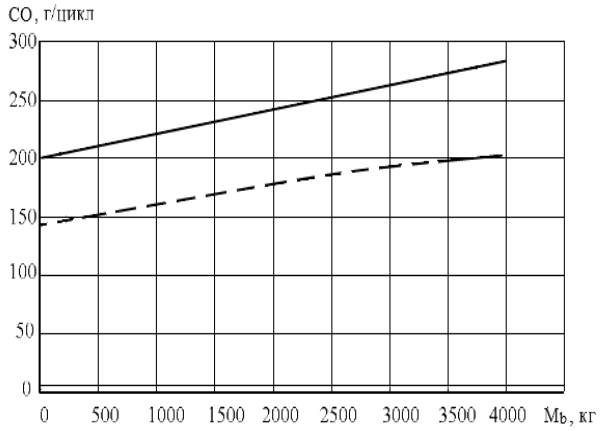


Рисунок 2 - Залежність масових викидів шкідливих речовин за цикл, приведених до CO від завантаження при роботі двигуна за дизельним і газодизельним циклами.

Розрахунки паливної економічності показали, що при роботі за газодизельним циклом частка заміщення дизельного палива становить від 63% до 68,5%, залежно від режиму навантаження двигуна. Під час роботи двигуна за газодизельним циклом найменші сумарні питомі викиди, зведені до CO, спостерігаються при коефіцієнті подачі палива φв = 50%. У той же час при цьому ж значенні φв у дизельному циклі, навпаки, фіксуються найбільші сумарні викиди.

Переведення дизельного двигуна вантажного автомобіля на газодизельний цикл дозволяє суттєво знизити сумарні викиди шкідливих речовин — на 12–21% залежно від завантаження автомобіля, зокрема оксидів вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту та твердих частинок. При цьому паливна економічність зростає навіть за умов часткового завантаження та міських їздових циклів, а експлуатаційні характеристики двигуна залишаються стабільними без втрати потужності та динаміки руху.

Економічна доцільність переобладнання підтверджується розрахунками окупності, яка становить 16–20 місяців при добовому пробігу 225–250 км і завантаженні 2000–3000 кг. Витрати на паливо за газодизельного циклу менші порівняно з класичним дизельним режимом навіть при максимальному навантаженні, а соціально-економічний збиток на 100 км пробігу знижується на 18–21%.

Розроблені методики розрахунку витрат палива та викидів шкідливих речовин, а також алгоритми оцінки доцільності конверсії, підтверджують практичну і технологічну ефективність газодизельної системи. Таким чином, впровадження газодизельного циклу у вантажних автомобілях є раціональним рішенням, що поєднує економічну вигоду, екологічну безпечність та стабільні експлуатаційні показники.

Список використаних джерел

1. Коробов С.С. Дослідження впливу використання біодизеля в якості палива для двигуна на технічні показники автомобіля / Коробов С.С., Галущак Д.О. – Вісник СевНТУ, 2013 –№143. –с.88-91.

2. Поляков А.П. Сучасний стан та перспективи розвитку ринку тракторів в Україні / Коробов С.С., Поляков А.П. – Збірник наукових праць VI Міжнародна практична конференція «Сучасний стан та перспективи розвитку автомобільного транспорту» ВНТУ, 2013 –с.83-84.

3. Коробов С.С. Вплив на техніко-економічні та екологічні показники дизелів Камаз-740 зміни конструктивних параметрів форсунки / Коробов С.С., Квасневський С.О. – Наукові нотатки ЛНТУ,2014 - №46 – с.439-445.

Ковальчук Іван Васильович – доктор філософії у галузі права, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: ivankovalchuk@vntu.edu.ua, ORCID: https://orcid.org/ 0009-0007-7467-5317

Мамківський Ілля Віталійович – студент групи 1АТ-24б, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oriondxcvii@gmail.com

Kovalchuk Ivan – PhD in law, senior Lecturer at the Department of Automobiles and Transport Management Faculty of Information Electronic Systemsof Machine Building and Transport Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivankovalchuk@vntu.edu.ua, ORCID: https://orcid.org/ 0009-0007-7467-5317

Mamkivskiy Illia – student of group 1AT-24b, Faculty of Mechanical engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oriondxcvii@gmail.com

UDK 504.06:662.756.3

F. Kozak, V. Melnyk

ON SOURCES OF OBTAINING ALTERNATIVE FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

The reduction of oil and gas reserves, the increase in its price, energy crises, catastrophic pollution of the environment with exhaust gases, the ever-increasing dependence of many countries on the import of these raw materials, the acceleration of global warming - these are the main circumstances that force us to look for non-traditional motor fuels and renewable energy sources. For Ukraine today, there are the following main promising sources of alternative fuel for internal combustion engines: biomethane, biodiesel, hydrogen, alcohols.

Keywords: *alternative fuels for internal combustion engines, biomethane, biodiesel, hydrogen, alcohols.*

Most cars today use petroleum products as fuel - gasoline and diesel fuel, as well as gaseous fuels in compressed and liquefied form [1-5].

If the increase in the number of cars continues at the current pace, then the explored reserves of oil and gas (according to British Petroleum) will last for about 40 years.

The reduction in oil and gas reserves, the increase in its price, energy crises, catastrophic pollution of the environment with exhaust gases, the ever-growing dependence of many countries on the import of this raw material, the acceleration of global warming - these are the main circumstances that force us to look for non-traditional motor fuels and renewable energy sources.

For Ukraine today, there are the following main promising sources of alternative fuel for internal combustion engines: biomethane, biodiesel, hydrogen, alcohols [1-5].

The main advantages and disadvantages of these areas are presented in Table. 1.

Table 1 – Advantages and disadvantages of the main types of alternative fuels

Alternative fuel sources			
Biomethane	Biodiesel	Hydrogen	Alcohols
- for production, household waste, preserved landfills, waste from crop production, poultry farming, and livestock farming are used; - the resulting gas is similar to natural gas; - environmentally safe; - a renewable source.	- oil plants are used for production; - the resulting fuel has properties similar to diesel fuel; - for use in its pure form, the engine must be converted; - the source is renewable.	- extracted mainly from natural gas, water; - the resulting fuel has a high calorific value; - expensive to produce; - environmentally safe; - large reserves.	- produced from sugar beets; - lower calorific value; - environmentally friendly; - for use in its pure form, the engine must be converted; - renewable source.

Biodiesel production, for example, from rapeseed oil requires quite large land areas for its cultivation, and rapeseed itself depletes the soil and as a result, it reduces fertility. And since the Ivano-Frankivsk region does not belong to the region with large reserves of arable land, this source of alternative fuel cannot be used on a large scale. Biodiesel also has certain disadvantages [1]:

- the use of biodiesel does not guarantee a reduction in emissions of toxic and greenhouse gases into the atmosphere. Emissions from the combustion of biodiesel made from corn or rapeseed are more destructive for the planet's atmosphere than emissions from the combustion of a similar amount of oil and gas. Biodiesel creates from 50% to 70% of greenhouse gases that lead to warming of the atmosphere;

- rapeseed oil has a so-called freshness indicator - "acid number". The shelf life of biodiesel is no more than 3 months, which limits its use;

- more aggressive towards rubber and polymer parts of engines than conventional petroleum fuel;

- biodiesel is more expensive than diesel fuel. In winter, at sub-zero temperatures, pure biodiesel solidifies.

Rapeseed crops are increasingly being attacked by a number of diseases and natural consumers. At the same time, diseases that have begun to spread massively to rapeseed have not been observed in Ukraine before. The appearance of diseases requires intensive use of pesticides, which leads to both negative environmental consequences and an increase in the cost of growing the crop. Therefore, biogas, which is an analogue of natural gas, is a promising motor fuel for our region. Biogas can be obtained in the Ivano-Frankivsk region from several sources (second poster): household waste, livestock (poultry) waste, crop waste and preserved landfills. But since biogas has a low calorific value, the efficiency of internal combustion engines on biogas will be low. Therefore, it will be more efficient to use not biogas, but biomethane obtained from it. For this, CO2 and other components are removed from biogas. The resulting gas has a practically homogeneous composition (biomethane) with a heat of combustion of 35-40 MJ/m3 [1].

The use of biomethane in gasoline fuel systems in compressed or liquefied form does not create problems, since the domestic and foreign automotive industry currently produces cars with standard fuel systems for gas fuel.

More problems arise when using biomethane on diesel engines, because it is necessary to re-equip the fuel system. But this problem has already been solved, for example, the development of the Institute of Gas of the National Academy of Sciences of Ukraine (O.I. Pyatnychko and others) allows the use of biomethane to power diesel engines converted using their technology on gas diesel. Today, a number of commercial companies are already operating in Ukraine that convert diesel engine power systems to a gas-diesel cycle, for example, the company "AGATEM" LLC is the first national operator in providing services for converting vehicles of individuals and legal entities to LPG systems of all generations and types, including gas-diesel systems.

The principle of operation of a gas diesel is as follows. Gas is supplied to the engine cylinders through the intake manifold together with air, and at the end of the compression stroke, a metered amount of diesel fuel is injected through the injectors, necessary for igniting the gas-air mixture. Fuel consumption directly depends on the operating conditions of the car. At idle, the car runs only on diesel fuel, with an increase in speed and load, the substitution indicated in the graph occurs.

However, there are some problems with biogas generation:

- chemistry and kinetics of the fermentation process;
- search and determination of optimal technological parameters to obtain maximum methane yield.

Regarding biogas production in the Ivano-Frankivsk region, two biogas plants are currently being built on the basis of Danosha LLC with the aim of utilizing production waste and processing it into biogas and mineral fertilizer.

As for the production of biomethane from preserved landfills, I would like to note that there is a positive experience in Poland in this regard. Thus, as we see today, along with traditional fuels for internal combustion engines, it is possible to use their alternative substitutes quite effectively, both in pure form and in mixtures with them, all the prerequisites for this in Ukraine and the region are there, the only question is financing these projects.

List of used references

1. Melnyk V. M. Research of the main technical and operational characteristics of alternative fuels for diesel internal combustion engines / V. M. Melnyk, T. Y. Voitsekhivska, A. R. Sumer // Scientific works of VNTU. – 2018. – No. 2. – P. 1-13.

2. Yakovleva A. V. Physicochemical properties of biodiesel fuels based on ethyl esters of mustard oil / A. V. Yakovleva, S. V. Boychenko, A. V. Gudz, S. O. Zubenko // Catalysis and petrochemicals. – 2020. – No. 29. – P. 24-30.

3. Levterov A. M. Improvement of environmental characteristics of a diesel engine running on biodiesel fuel compositions / A. M. Levterov, V. D. Savitsky // Automotive transport. – 2015. – No. 36. – P. 110-117.

4. Zhurenko Y. I. Biodiesel - an alternative replacement for diesel fuel / Yu. I. Zhurenko, V. M. Yaropud, I. A. Babyn // Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University. – 2012. – No. 10 (58). – P. 44-51.

5. Korpach A. O. Research on the influence of physicochemical properties of biodiesel fuel on fuel economy, energy and environmental indicators of automobile diesel / A. O. Korpach, O. O. Levkivskyi // Bulletin of ZhDTU. – 2016. – No. 2 (77). – P. 115-121.

Fedir Kozak – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Road Transport, Institute of Engineering Mechanics and Robotics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

Vasyl Melnyk - candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Automobile Transport, Institute of Engineering Mechanics and Robotics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

Козак Федір Васильович – к.т.н., професор кафедри автомобільного транспорту, Інститут інженерної механіки та робототехніки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

Мельник Василь Миколайович – к.т.н, доцент кафедри автомобільного транспорту, Інститут інженерної механіки та робототехніки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

УДК 629.33:621.43.06:662.76

В.О. Колесніков

ВОДНЕВИЙ ТРАНСПОРТ ТА ВОДНЕВІ АВТОМОБІЛІ

Наведено стислий аналіз розвитку та впровадження водневих технологій на автомобільному транспорті та транспортній галузі.

Ключові слова: *автомобілебудування, автомобіль, водень, водневі технології, водневий автомобільний транспорт, водневий автомобіль, паливо, екологія, майбутнє, електромобіль.*

A brief analysis of the development and implementation of hydrogen technologies in road transport and the transport industry is made.

Key words: *automotive industry, automobile, hydrogen, hydrogen technology, hydrogen road transport, hydrogen car, fuel, environment, future, electric car.*

Згідно з результатами численних досліджень [1–11], розвиток і впровадження нових та водневих технологій у автомобільному транспорті залишається надзвичайно актуальним напрямом. Наукові роботи підкреслюють важливість розширення використання водню як екологічно чистої альтернативи традиційному вуглецевому паливу, що сприятиме сталому розвитку суспільства та скороченню шкідливих викидів. Особливу увагу приділяють технологіям зниження собівартості виробництва водню, зокрема електролізерам і матеріалам, які можуть замінити дорогі платинові каталізатори. Подальший прогрес у галузі водневих технологій, передусім використання “зеленого” водню, визначається як ключовий чинник еволюції сучасного автомобільного транспорту.

Розвиток водневих технологій у автомобільному транспорті активно здійснюється у провідних промислово розвинених країнах світу — Японії, Німеччині, США, Китаї, Південній Кореї, Франції та ряді інших держав. Ці країни реалізують державні програми підтримки водневої енергетики з метою скорочення викидів парникових газів, зменшення залежності від викопних енергоресурсів та переходу до сталих, екологічно безпечних видів палива у транспортному секторі.

Особлива увага приділяється створенню національної інфраструктури для виробництва, зберігання та розподілу водню, зокрема розвитку мережі водневих заправних станцій, систем безпечного транспортування і зберігання водню, а також удосконаленню паливних елементів і технологій електролізу.

Серед світових автомобільних корпорацій, які відіграють провідну роль у впровадженні водневих технологій, варто виділити Toyota, Honda, Hyundai, BMW та Mercedes-Benz. Ці компанії розробили та серійно випускають водневі автомобілі нового покоління, зокрема Toyota Mirai, Honda Clarity Fuel Cell і Hyundai NEXO та ін., які демонструють високий рівень енергоефективності та мінімальний екологічний вплив під час експлуатації.

Транспортні засоби на паливних елементах (FCV, FCEV) — це електромобілі, які отримують енергію від паливного елемента (fuel cell), іноді у поєднанні з невеликим акумулятором або суперконденсатором. Паливний елемент виробляє електроенергію завдяки електрохімічній реакції між воднем (який зберігається у балонах під тиском) та киснем з повітря. Ця реакція є екологічно чистою, адже її єдиними продуктами є вода та тепло [12-15].

Більшість таких транспортних засобів відносять до категорії засобів з нульовим рівнем викидів (Zero Emission Vehicles), оскільки вони не забруднюють навколишнє середовище під час руху. Проте певні викиди можуть виникати під час виробництва, транспортування або зберігання водню, адже водень найчастіше отримують шляхом перероблення природного газу. Таким чином, екологічна ефективність водневого транспорту залежить і від способу отримання водню.

Паливні елементи застосовують у різних видах транспорту: від легкових автомобілів і автобусів до вантажівок, дронів, літаків, кораблів, мотоциклів і навіть велосипедів [15]. Вони також активно використовуються у навантажувачах — особливо в приміщеннях, де важлива чистота повітря, та у космічній техніці, де потрібні надійні та безпечні джерела енергії. На рис. 1 для прикладу наведено фото водневого автомобіля від корпорації Toyota [2].

У 2024–2025 роках світ спостерігає активні зміни у сфері водневого транспорту. Приміром, у 2025 році Toyota починає використовувати вантажівки з паливними елементами для доставки

запчастин, щоб скоротити викиди в Європі [3]. Також BMW в 2024 році оголосила про плани випустити свій перший серійний водневий автомобіль до 2028 року [4].



Рисунок 1. Концепт водневого автомобіля від Toyota. Фото: Unsplash [2].

Крім того, в Європі через програму Clean Hydrogen на 2025 рік виділили понад 154,6 млн євро на підтримку 26 інноваційних проектів, які розробляють водневі технології [5].

Проте не все йде гладко. У 2024 році загальні продажі водневих автомобілів у світі впали більш ніж на 20 % — це вже другий рік поспіль із таким зменшенням [6]. Компанія Stellantis у 2025 році оголосила про припинення свого напрямку з паливними елементами через обмежену інфраструктуру й високі витрати [7]. Та ще гірше: деякі проєкти виробництва «зеленого» водню скасовують через фінансові та технічні труднощі [8].

Все ж інновації не зупиняються. Вчені із MIT у 2025 році розробили новий метод отримання водню з використанням переробленого алюмінію й морської води, що може зменшити вуглецевий слід [9].

Hyundai у 2025 році представила концепт Initium — новий водневий електромобіль з модернізованою системою, який може лягти в основу нових моделей [10].

У США в 2024 році додали 75 нових водневих автобусів у громадський транспорт, що більше ніж удвічі перевищило показники попереднього року [11].

Таким чином, водневі технології на автомобільному транспорті та транспортній галузі взагалі – продовжують розвиватись та впроваджуватись [16-31]. Розвиток таких технологій відкриває нові перспективи для створення більш екологічного транспорту майбутнього.

Список використаних джерел

1. Hassan, Q.; Azzawi, I.D.J.; Sameen, A.Z.; Salman, H.M. Hydrogen Fuel Cell Vehicles: Opportunities and Challenges. Sustainability 2023, 15, 11501. https://doi.org/10.3390/su151511501

2. Боришкевич В. Водневі авто – транспорт майбутнього, але поки їх мало. У чому їх недоліки та що в Україні // LIGA.net. Дата публікації: 13.03.2023. URL: https://tech.liga.net/ua/technology/article/vodorodnye-avto-transport-buduschego-no-poka-ih-malo-v-chem-ih-nedostatki-i-chto-v-ukraine (дата звернення: 07.10.2025).

3. Toyota Pressing Ahead with Hydrogen Fuel Cell Plans // FuelCellsWorks. – 2025. – URL: https://fuelcellsworks.com/2025/10/03/green-technology/toyota-pressing-ahead-with-hydrogen-fuel-cell-plans (дата звернення: 07.10.2025).

4. Hydrogen Pioneers Take Collaboration to the Next Level // BMW Group News. – 05.09.2024. – URL: https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2024/hydrogen-cooperation.html (дата звернення: 07.10.2025).

5. Clean Hydrogen Partnership Boosts Innovation with 26 New Cutting-Edge Projects // Clean Hydrogen Partnership. – 07.05.2025. – URL: https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/news/clean-hydrogen-partnership-boosts-innovation-26-new-cutting-edge-

projects-2025-05-07_en (дата звернення: 07.10.2025).

6. Global hydrogen vehicle sales fell by more than 20 % for second year in a row in 2024. // Hydrogen Insight. – 11 лютого 2025. – URL: https://www.hydrogeninsight.com/transport/global-hydrogen-vehicle-sales-fell-by-more-than-20-for-second-year-in-a-row-in-2024/2-1-1778041(дата звернення: 07.10.2025).

7. Stellantis discontinues hydrogen fuel cell programme and van production // Reuters. – 16 липня 2025. URL: https://www.reuters.com/technology/stellantis-discontinues-hydrogen-fuel-cell-programme-van-production-2025-07-16/ (дата звернення: 07.10.2025).

8. Міжнародне енергетичне агентство (IEA). Low-emissions hydrogen projects are set to grow strongly despite wave of cancellations and persistent challenges. — 12 вересня 2025. — URL: https://www.iea.org/news/low-emissions-hydrogen-projects-are-set-to-grow-strongly-despite-wave-of-cancellations-and-persistent-challenges (дата звернення: 07.10.2025).

9. Study shows making hydrogen with soda cans and seawater scalable, sustainable // MIT News. – 3 червня 2025. – URL: https://news.mit.edu/2025/study-shows-making-hydrogen-soda-cans-seawater-scalable-sustainable-0603 (дата звернення: 07.10.2025).

10. Hyundai Initium [Електронний ресурс] // Wikipedia. – останнє оновлення. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Hyundai_Initium (дата звернення: 07.10.2025).

11. Hydrogen in Transport: Current Tech and Fleet Adoption in the United States // FleetEV News. – останнє оновлення. – URL: https://fleetevnews.com.au/hydrogen-in-transport-current-tech-and-fleet-adoption-in-the-united-states/ (дата звернення: 07.10.2025).

12. Колесніков В. О. Водневі автомобілі та водневий транспорт // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XII-ї Міжнародної науково-практичної конференції (16–18 квітня 2024 р., м. Вінниця). – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 153–156.

13. Балицький О.І., Колесніков В.О., Іщенко Б.М. Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 23–30.

14. Балицький О.І., Колесніков В.О., Іщенко Б.М. Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі. Частина 2. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 31–45.

15. Гібридні та електричні транспортні засоби. Підрозділ: «Водневий транспорт та водневі технології»: конспект лекцій з дисципліни «Гібридні та електричні транспортні засоби», для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня денної та заочної форм навчання спеціальності 015.38 «Професійна освіта» освітньої-професійної програми «Транспорт»/ В. О. Колесніков ; Держ. закл. «Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка». Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. 118 с.

16. Бувалець М. Ю., Рулевська Т. Ф., Колесніков В. О. Стан впровадження водневих технологій на сучасному транспорті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VI-та міжн. науково-практичн. конф., 12–13 квітня 2018 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 97– 102.

17. Абрамек К. Ф., Балицький О., Колесніков В. Сучасні конструкційні матеріали в гібридних та водневих автомобілях // Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Полтава, 20–21 березня 2025 р.). Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2025. С. 280–287.

18. Рулевська Т. Ф., Єльбакієв Д. Г., Колесніков В. О. Перспективи «водневих» автомобілів // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 168 – 172.

19. Колесніков В.О. Водневі технології. Частина 1. Легкові водневі автомобілі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 144–157.

20. Колесніков В.О. Водневі технології. Частина 2. Вантажні водневі автомобілі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 158–165.

21. Балицький О.І., Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р. Стан розвитку та впровадження водневих технологій. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: IX-та міжн. науково-прак. конф., 14–15 квітня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 15–19.

22. Колесніков Валерій Олександрович. Перспективи використання зеленого водню для різних технічних галузей. Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку науки та освіти: зб. матеріалів І Всеукр. міждисцип. наук.-практ. конф. 27-28 квіт. 2022 р. Полтава: Вид-во ДЗ «Луганський національний університет ім. Т. Шевченка, 2022. С. 211–215.

23. Балицький О.І., Колесніков В.О., Ревякіна О.О., Абрамек К.Ф., Іваськевич Л.М., Гаврилюк М.Р., Колеснікова Є.Б. Водневий вектор розвитку автомобільного транспорту. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту. XIV-та міжн. науково-практичн. конф., 25-27 жовтня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 22–25.

24. Колесніков Валерій. Значення зеленого водню для енергетичної та транспортних галузей. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: III Міжн. науково-практичн. конф., 20-21 березня 2023 року: матеріали. Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. С. 407-408. ISBN 978-617-8016-78-4. https://doi.org/10.12958/978-617-8016-78-4-2023.

25. Сидоренко Р. С., Боркут А. В., Колесніков В. О. Переваги та недоліки електричних автомобілів // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII міжнар. науково-практ. конф., 16–18 квіт. 2024 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 309–312.

26. В.О. Колесніков. Впровадження водневих технологій на транспорті та суміжних галузях. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 179-181. ISBN 978-966-641-950-0.

27. Савінова В. В., Стадник О. І., Колесніков В. О. Розвиток і впровадження нанотехнологій в автомобілях. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: V-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2017 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2017.С. 121–124.

28. Колесніков В.О. Електромобілі – стан та перспективи // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII міжнародна науково-практична конференція, 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 157–160.

29. Ярченко Б. В., Стадник Л. Д., Колесніков В. О. Нові технології в сучасних автомобілях // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 кв. 2018 р., м. Вінниця. - С. 216 - 223.

30. Балицький О.І., Еліаш Я., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Мочульський В.М., Гребенюк С.О., Глюзицький О.О. Дослідження матеріалів для розробки гібридних автомобілів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 28-38.

31. Абрамек К. Ф., Балицький О. І., Колесніков В. О. Сучасні конструкційні матеріали в водневих та гібридних транспортних засобах // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15–17 квітня 2025 року: зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 23–28.

Колесніков Валерій Олександрович **–** кандидат технічних наук, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу НН інституту технологій і торгівлі ДЗ "Луганский національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Полтава, м. Лубни, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України, м. Львів.

Kolesnikov Valerii O. **-** PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Institute of Technology and Trade, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, Research Scientist at the Department of strength of materials and structures in hydrogen-containing environments, Karpenko Institute of Physics and Mechanics, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv.

УДК 621.9:620.178.16:004.932.2:629

В.О. Колесніков, М.Р. Гаврилюк, О.І. Балицький

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРОДУКТІВ ЗНОШУВАННЯ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ ТА ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННІ

У тезах представлено окремі результати, що стосуються діагностики стану матеріалу деталей, які тривалий час зазнають впливу водню. Одним із перспективних напрямів цього науково-практичного підходу є розробка та впровадження методів комп'ютерного зору для виявлення ознак деградації та пошкоджень на основі аналізу поверхні та продуктів зношування.

Ключові слова: *водневе насичення, сталь, частинки зношування, комп'ютерний зір.*

The theses present selected results related to the diagnostics of the material condition of components that have been exposed to hydrogen for a long time. One of the promising directions of this scientific and practical approach is the development and implementation of computer vision methods for detecting signs of degradation and damage based on the analysis of surface features and wear products.

Key words: *hydrogen charing*, steel, wear particles, computer vision.

Розвиток сучасних технологій тісно пов'язаний із впровадженням водневої енергетики як ключового елементу енергетичного переходу. Водночас вплив водню на властивості сталей, зокрема їхню довговічність, корозійну та механічну стійкість, вимагає ретельних фундаментальних і прикладних досліджень. Одним із перспективних напрямів оцінювання стану елементів конструкцій, деталей машин та механізмів під час тривалої експлуатації є аналіз продуктів зношування, змін у поверхневих шарах, а також діагностика процесів деградації матеріалів. Ці підходи набувають особливої актуальності в умовах розвитку цифрових технологій та впровадження концепцій Індустрія 4.0 та 5.0, які забезпечують інтеграцію інтелектуальних систем моніторингу у виробничі та енергетичні процеси [1-17].

Дослідження частинок зношування, в тому числі і в транспортній галузі та енергомашинобудуванні, є надзвичайно важливим напрямком для більш точного діагностування експлуатаційної надійності вузлів та механізмів [1 - 6]. Наприклад, присутність частинок в змащувальному матеріалі вливає на фізико-хімічні властивості олив, а відтак і на роботоздатність ДВЗ [7-11].

Досліджували інтенсивність зношування ненаводнених та наводнених зразків холоднодеформованих високоазотних марганцевих сталей під час сухого тертя, а також їх поверхні тертя та морфологію продуктів зношування. Наводнювали зразки з високоазотної сталі за густини струму 0,5 A/cm2 у 26%-му розчині сірчаної кислоти впродовж 3 h. Мета електролітичного наводнення сплавів – наситити воднем їх поверхневі та підповерхневі шари, здійснити триботехнічні випробування, зімітувавши тертя за максимальної дії водневого середовища.

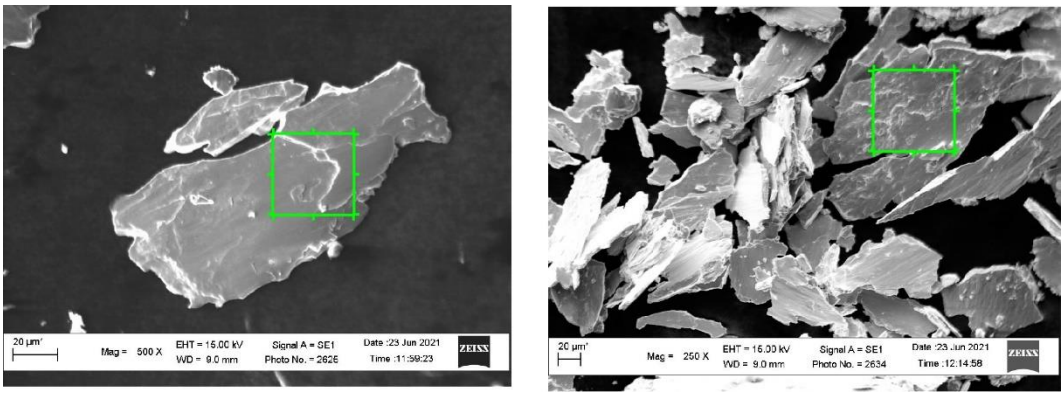
Зносотривкість визначали на машині тертя CMT1 (2070). Швидкість ковзання нижнього ролика становила 1480 RPM, а верхнього 1240 RPM (проковзування 15%). Нижній ролик (∅ 42 mm) виготовлений зі сталі 1.0503 (DIN) (HRC = 60) (аналог сталі 45), а верхній – з високоазотної сталі: сплав № 1 типу DDT 68 твердістю 45…50 (табл. 1). Лінійна швидкість верхнього ролика – 2,27 m/s, а нижнього – 3,08 m/s. В умовах сухого тертя навантаження становило 250…600 N. Хімічний склад досліджуваних сплавів наведено у роботі [9].

Параметри мікроструктури та поверхні тертя обстежували на електронному мікроскопі EVO-40XVP зі системою мікроаналізу INCA Energy 350 у Центрі електронної мікроскопії та рентгенівського мікроаналізу Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України.

Для визначення фазового складу мікроструктури сталей, розмірів продуктів зношування і пошкоджень на поверхнях тертя та 2D, 3D реконструкції поверхонь зношування використовували програмні комплекси TOUP VIEW 3.7 та Gwyddion 2.62.

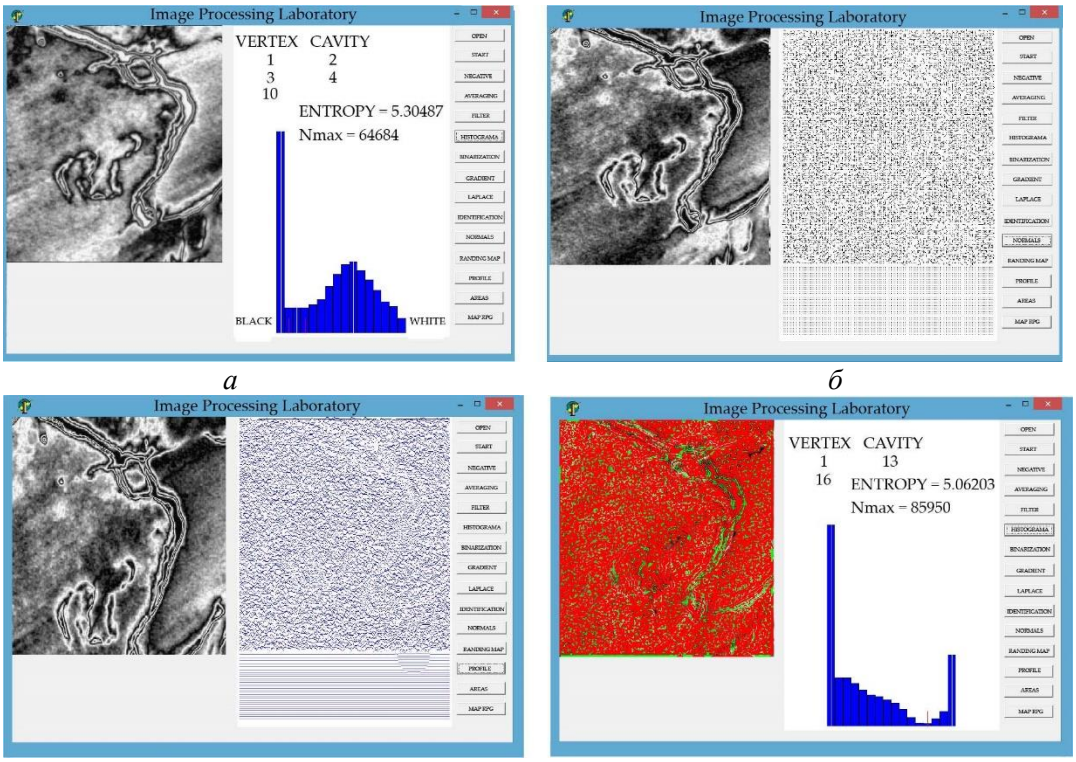
Був проведений аналіз морфології продуктів зношування до наводнювання та після (рис. 1), зроблена реконструкції поверхонь зношування у вигляді 2D, 3D зображень. Також окремі

ділянки частинок зношування досліджувались у власнорозробленій запатентованій комп'ютерній програмі (рис. 2) [18].



а *б*

Рисунок 1. Фотографія частинок зносу, що утворилися в умовах сухого тертя (p = 250 Н): без наводнення (*а*) та після електролітичного наводнення (*б*). Зеленим кольором окреслено квадрат, площа якого досліджувалася за допомогою системи комп'ютерного зору [4].



а *б*

в *г*

Рисунок 2. Дослідження цифрових зображень ненаводнених частинок зношування за допомогою розробленого комп'ютерного програмного забезпечення: операція побудови гістограми (*а*), операція побудови нормалей (*б*), створення профілю поверхні (*в*), розрахунок профілю поверхні з побудовою гістограм (*г*) [4].

Серед даних, розрахованих програмою, ми виділяємо VERTEX, CAVITY, Nmax та ENTROPY [4, 18].

Ми отримали кілька десятків високоякісних фотографій частинок зносу, зроблених за різних умов, які можна використовувати для розширення горизонтів досліджень за допомогою методів комп'ютерного зору для отримання різноманітних кореляцій.

Ми також можемо розширити можливості дослідження частинок зносу, написавши додаткові скрипти, наприклад, мовою Python.

Проведені дослідження підтвердили, що насичення високоазотних сталей воднем істотно змінює морфологію продуктів зношування та характер поверхневих пошкоджень, що вказує на активізацію фізико-хімічних процесів під дією водневого середовища. Аналіз зношування до та після наводнювання показав суттєву різницю в мікроструктурі, розмірах частинок та ступені локальних пошкоджень.

Запропонована концепція використання комп'ютерного зору дозволила здійснити кількісну оцінку параметрів морфології частинок зношування (VERTEX, CAVITY, Nmax, ENTROPY), що відкриває перспективи для автоматизованого моніторингу технічного стану трибовузлів у реальному часі. Розроблена комп'ютерна програма забезпечує фрактографічний аналіз та візуалізацію 2D/3D поверхонь, а також дозволяє розширювати функціонал за рахунок підключення зовнішніх скриптів.

Таким чином, інтеграція методів комп'ютерного зору в діагностику елементів машин, які зазнають тривалого тертя у водневому середовищі, є ефективним інструментом для підвищення надійності, прогнозування довговічності та підтримки безпечної експлуатації конструкцій в умовах впровадження водневої енергетики та цифрових технологій Індустрії 4.0/5.0.

Список використаних джерел

1. Krella, A. Hydrogen-Induced Degradation of Metallic Materials—A Short Review. Materials 2025, 18, 597. https://doi.org/10.3390/ma18030597

2. Wong, J.; Wei, H.; Zhou, D.; Cao, Z. The Target Detection of Wear Particles in Ferrographic Images Based on the Improved YOLOv8. Lubricants 2024, 12, 280. https://doi.org/10.3390/lubricants12080280

3. Baur, M.; Khader, I.; Kürten, D.; Schieß, T.; Kailer, A.; Dienwiebel, M. Premature Damage in Bearing Steel in Relation with Residual Stresses and Hydrogen Trapping. Lubricants 2024, 12, 311. https://doi.org/10.3390/lubricants12090311

4. Balitskii, A.I.; Kolesnikov, V.O.; Balitska, V.O.; Ivaskevych, L.M.; Dowejko, J.M.; Pilecki, B.J.; Havrilyuk, M.R. Computer-Integrated Surface Image Processing of Hydrogen-Saturated Steel Wear Products. Appl. Sci. 2024, 14, 11762. https://doi.org/10.3390/app142411762

5. Balitskii, A.I.; Kolesnikov, V.O.; Havrilyuk, M.R.; Balitska, V.O.; Ripey, I.V.; Królikowski, M.A.; Pudlo, T.K. Steel Hydrogen-Induced Degradation Diagnostics for Turbo Aggregated Rotor Shaft Repair Technologies. Energies 2025, 18, 4368. https://doi.org/10.3390/en18164368

6. Borkut A., Kolesnikov V., Marynchenko Ye., Danylovych O. Control of Hydrogen Charging Intensity in the Subsurface Layers of Steel Parts Based on the Analysis of Wear Particle Images // Proceedings of the International Young Scientists Conference on Materials Science and Surface Engineering (MSSE2025). Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, September 24–26, 2025. P. 262–265.

7. Основи діагностики автомобіля: Навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України / Укладачі: Люлька В.С., Коньок М.М., Перинський Ю.Є., Клімов О.М. Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. 188 с.

8. Колесников В.А. Продукты износа в двигателях автомобилей // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції "Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД". 19 квітня 2013 р., м. Краснодон. С. 362 -365.

9. Balyts'kyi, O.I.; Kolesnikov, V.O. Investigation of Wear Products of High-Nitrogen Manganese Steels. Mater. Sci. 2009, 45, 576–581. https://doi.org/10.1007/s11003-010-9216-1

10. Balyts'kyi, O.I.; Kolesnikov, V.O. Investigation of the Wear Products of Austenitic Manganese Cast Irons. Mater. Sci. 2004, 40, 78–82. https://doi.org/10.1023/B:MASC.0000042788.19429.a1

11. Balitskii, V.O. Kolesnikov, A.I. Balitskii. Wear resistance of hydrogenated high nitrogen steel at dry and solid state lubricants assistant friction // August 2019 Archives of Materials Science and Engineering 2(98):57-67. DOI: 10.5604/01.3001.0013.4607 https://archivesmse.org/resources/html/article/details?id=193096

12. Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р., Балицький О.І. Застосування методів комп'ютерного зору для ідентифікації продуктів зношування та різання в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту. IX-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. Матеріали. 14-15 квітня 2021р., м. Вінниця, 2021. С. 131–134.

13.Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Бикадорова Н. О., Колеснікова Єл. Б. Розпізнавання зображень частинок зношування як інструменту для технічної діагностики в транспортній галузі та енергомашинобудуванні Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку науки та освіти: зб. матеріалів І Всеукр. міждисцип. наук.-практ. конф. 27-28 квіт. 2022 р. Полтава: Вид-во ДЗ «Луганський національний університет ім. Т. Шевченка, 2022. С. 205–208.

14.Колесніков В. О., Балицький О. І., Гаврилюк М. Р., Іваськевич Л. М. Застосування комп'ютерного програмного комплексу для візуалізації шорсткості поверхні деталей в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2023 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 179–184.

15.Концепція враховування структурно-фазового стану експлуатованих матеріалів в енергомашинобудуванні при проведенні ремонтів з застосуванням механічної обробки. Колесніков В.О., Балицький О.І., Гаврилюк М.Р., Ревякіна О.О. ІІ-га Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2021»: Збірник тез [Електронний ресурс]. – Вінниця: ВНТУ. – 2021. – с. 310 -312.

16.Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Колеснікова Є. Б. Діагностика та контроль продуктів зношування в транспортній галузі та енергомашинобудуванні для забезпечення надійної експлуатації механізмів. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту, 14-15 квіт. 2022 р.: зб. наук. праць X міжнар. наук.-техн. інтернет- конф. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 147–149.

17.Колесніков В.О. Застосування методів комп'ютерного зору для аналізу пошкоджуваності деталей транспорту. // Матеріали X-ї Міжнародної науково-практичної конференції Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT - 2018) 29-31 травня 2018 р., м. Херсон. – С. 312 - 316.

18.Свідоцтво про реєстрацію авторського права та твір № 101853. Комп'ютерна програма «Обробка зображень поверхні продуктів зношування, різання високоміцних сталей та сплавів». Колесніков Валерій Олександрович, Балицький Олександр Іванович, Гаврилюк Марія Романівна, Іваськевич Любомир Михайлович. Дата реєстрації 15 січня 2021 року.

Колесніков Валерій Олександрович – к.т.н., доцент кафедри технологій виробництва та професійної освіти, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів.

Гаврилюк Марія Романівна – к.т.н., науковий науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів.

Балицький Олександр Іванович – д.т.н., проф. провідний науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів, кафедра експлуатації автомобілів, Західнопоморського технологічного університету у Щеціні, м. Щецін, Республіка Польща

Kolesnikov Valerii O. – PhD in Engineering sciences of the Department of Production Technologies and Professional Education, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, Researcher at the Department of strength of materials and structures in hydrogen-containing environments, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv.

Havrilyuk Maria R. – PhD Researcher at the Department of strength of materials and structures in hydrogen-containing environments, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv.

Balitskii Olexsandr I. – professor, leading researcher at the Department of strength of materials and structures in hydrogen-containing environments, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Department of Vehicle Operation, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Szczecin, Poland.

УДК 656.8

Р.В. Колодницька

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Розглянуто відновлюване дизельне паливо як перспективне альтернативне паливо для впровадження його як замінника дизельного палива для автомобільного транспорту в Україні. Проведено аналіз властивостей та оцінена витрата палива при використанні цього палива. Проаналізовано перспективи використання відновного водню як палива для автомобілів з паливними комірками. Запропоновано використання фрактальної паливної комірки для стека паливних комірок.

Ключові слова: *автомобільний транспорт, відновлюване дизельне паливо, витрата палива, водень, е-паливо, паливна комірка.*

Renewable diesel fuel is considered as a promising alternative fuel for diesel fuel substitute for road transport in Ukraine. An analysis of the fuel properties was carried out and the fuel consumption was estimated. The prospects for the use of renewable hydrogen as a fuel for cars with fuel cells are analysed. The use of a fractal fuel cell for a stack of fuel cells is proposed.

Keywords: *road transport, renewable diesel, fuel consumption, hydrogen, e-fuel, fuel cell.*

У зв'язку з військовими діями та обмеженнями на дизельне паливо в ЄС в Україну було ввезено велику кількість автомобілів, що вже були у вжитку і працюють на дизельному паливі. Високі викиди оксидів азоту, які мають ці транспортні засоби (ТЗ), привели до заборони використання їх в Європі. Але хорошим рішенням для України може бути заміна дизельних палив у цих ТЗ іншими альтернативними паливами, наприклад, відновлюваними паливами. Відновлюване дизельне паливо, також відоме як гідроочищена рослинна олія (HVO), є інноваційним та екологічно чистим паливом для дизельних двигунів. Україна має значний потенціал виробництва біомаси, яка може бути використана для виробництва альтернативних видів палива, включаючи HVO. Відновлюване дизельне паливо (Renewble diesel, RD) – це комерційне паливо, що виробляється в США, Швеції, Фінляндії, Канаді та інших країнах світу.

Відновлюване дизельне паливо має деякі відмінності від викопного дизельного палива, як-то нижчу густину, вищу температуру спалаху, зменшені втрати на випаровування і трішки підвищену в’язкість.

В роботі [1] було проаналізовано відновлювальне дизельне паливо Solazyme, яке має дещо вищий вміст водню та масову теплотворну здатність, ніж літнє дизельне паливо. Це зменшує викиди вуглекислого газу (CO2) та зменшує масове споживання палива. Однак Solazyme має меншу густину у порівнянні з дизельним паливом, що приводить до нижчої об'ємної теплоти згоряння, збільшенню об’ємного споживання палива та зниженню економії палива.

В роботі [2] виконано моделювання випаровування відновлюваного дизельного палива, що показало менший час існування крапель цього палива порівняно з викопним паливом. Випаровування крапель відновлюваного палива буде залежати від складу цього палива, тому для моделювання процесу випаровування важливо знати точний молекулярний склад відновлюваного палива.

В таблиці 1 показані властивості відновного палива Solazyme, у порівнянні з дизельним паливом ULSD [1].

Таблиця 1 – Властивості палива Solazyme у порівнянні з дизельним паливом ULSD.

Властивість	Розмірність	ULSD	Паливо Solazyme	$\Delta C\ (X_R), \%$
Густина, 20°C	кг/м3	834	779	-6,60
Приведене цетанове число (DCN)	-	50,5	75,4	49,31
Теплота згоряння	МДж/кг	42,649	43,770	2,633

Саме ці властивості палива: густина, цетанове число та теплота згоряння, найбільше впливають на витрату палива. Треба відмітити, що в Таблиці 1 показані значення DCN, тобто це приведене цетанове число.

Остання колонка таблиці місить відносні зміни властивостей палива $\Delta C\ (X_R)$, які розраховуються як:

$$\Delta C\ (X_R) = (CN_{RD} - CN_D)/\ CN_D \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $C\ (X_R)$ – значення питомої властивості палива для суміші альтернативного палива залежно від концентрації альтернативного палива X_R; CN_D– значення питомої властивості палива для стандартного палива (дизельного палива), CN_{RD}– значення питомої властивості палива для відновлювального палива.

Для відновлювального палива найкраще співпадання з експериментальними даними одержуємо, використовуючи наступну формулу:

$$\alpha_{FC} = -1{,}075\Delta\rho - 0{,}099\Delta DCN - 1{,}113\Delta H, \quad (2)$$

де $\Delta\rho$ – відносна зміна густини; ΔDCN – відносна зміна приведеного (derived) цетанового числа; ΔH – відносна зміна нижчої теплоти згоряння альтернативного палива відносно ДП.

Розрахунок за формулою (2) дає зниження витрати відновлювального палива у порівнянні з дизельним паливом на 0,717%, але також показує нижчі витрати у порівнянні з експериментальними даними на 0,714% .

В роботі [1] були виконані експериментальні дослідження дванадцяти автомобілів з ДВЗ, з них шість автомобілів були «Pakage car» і шість автомбілів «Tractor trailes», які працювали на відновному дизельному паливі. Обрані ТЗ були оснащені реєстраторами даних Isaac DRU900/908. Причому, тільки автомобілі «Pakage car» продемонстрували стабільне зниження викидів NOx на 4,1% при переході на паливо Solazyme у порівнянні з дизельним паливом. Зниження викидів оксиду азоту при переході на альтернативне паливо не до кінця зрозуміло і потребує додаткових досліджень.

На рис. 1 показано порівняння показників для «Pakage car» і «Tractor trailes», що працюють на відновлюваному дизельному паливі.

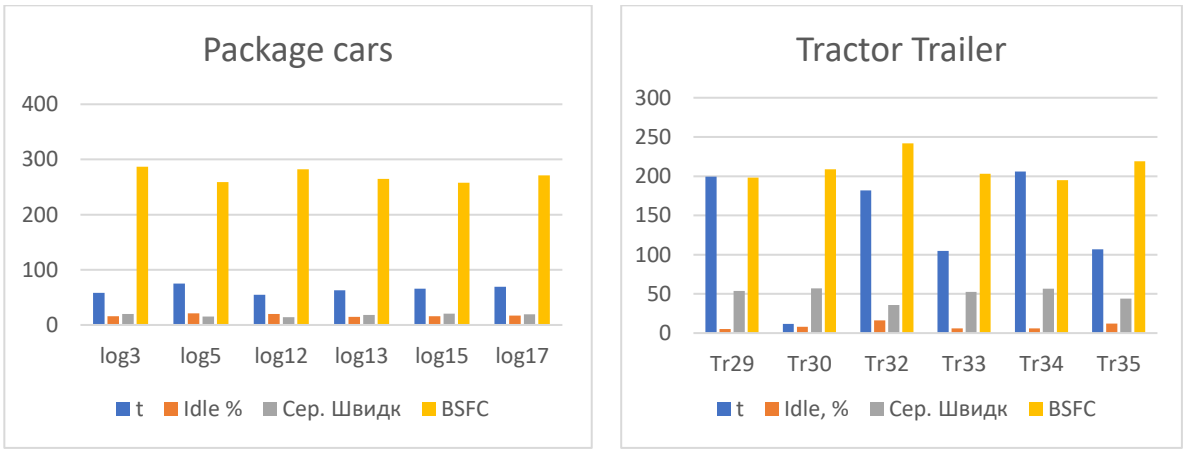


Рисунок 1 – Порівняння показників для шести автомобілів «Pakage car» та «Tractor trailes», що працюють на відновному дизельному паливі (t- час поїздки [год], idle - час простою [%], середня швидкість [миль/год], BSFC- питома витрата палива [г/кВт год])

Як видно з Рис. 1, всі автомобілі «Pakage car» мають більшу питому витрату палива BSFC у порівнянні з «Tractor trailes». Це пов'язано з тим, що автомобілі «Pakage car» в основному їздили по місту. Найбільша витрата палива (242 г/кВт год) серед трейлерів спостерігалася у Tr32, який мав найбільший час простою (Idle), що склав біля 16%.

Усі цикли водіння, які були досліджені, показували стабільне зниження викидів CO2 у відпрацьованих газах на 4,2%.

Викиди NOx від «Tractor Trailer», оснащеного системою SCR, були на порядок нижчими, ніж у автомобілів Package car, але показали деяку варіативність результатів від циклу до циклу. Отже, автомобілі, які оснащені системою SCR (selective catalytic reduction) потребують додаткового дослідження у випадку використання відновного дизельного палива.

Важливим фактом для України є те, що для виробництва відновного дизельного палива використовується водень. Якщо водень буде вироблятися шляхом електролізу з використанням відновних джерел енергії, то такий водень буде представляти собою зелений або відновлюваний водень. В такому випадку відновлювальне дизельне паливо буде е-відновлювальне дизельне паливо (e- renewable diesel).

Будівництво заводу з виробництва зеленого водню в Україні українською компанією «Hydrogen Ukraine», в м. Рені, що поблизу Одеси, додає оптимізму щодо використання водню як для виробництва відновлювального дизельного палива, так і безпосередньо як палива для автомобільного транспорту.

На сьогодні найбільш перспективним є використання водню в автомобілях з паливними комірками. Автомобіль з паливними комірками на водні, наприклад «Toyota Mirai», викидає лише воду, і все більше автомобільних компаній світу звертаються до водневих технологій.

Переваги використання автомобілів з паливними комірками на водні відмічені нижче.

1. Запас ходу може бути досягнутий за допомогою достатньої кількості водневих баків високого тиску. Останні можуть бути розміщені в різних місцях, що дозволяє оптимізувати доступний об'єм, підвищуючи придатність для перевезення пасажирів і місткість багажника.

2. Номінальна тягова потужність, отримана за певної маси та швидкості автомобіля й нахилу дороги, досягається за поєднання потрібної кількості стеків паливних комірок. Це має чотириразову перевагу: (1) зниження глобальної вартості, (2) підвищення ефективності їздового циклу, (3) забезпечення безперервності експлуатації за рахунок роботи в погіршеному режимі, (4) збільшення терміну служби за рахунок розподілу зносу на різні підсистеми.

3. Заправка баків є простою та швидкою, що дозволяє як зробити вартість та простір зарядних станцій вигідними порівняно зі швидкими зарядними станціями, призначеними для електромобілів, так і досягти інтенсивного використання водню, в таких ТЗ, як таксі чи автобуси.

4. Системи паливних комірок дуже безпечні навіть у разі автомобільних аварій. Безпека в основному базується на тому, щоб отримати витік, який залишається нижче рівня горючості водню. Така конструкція досить проста і орієнтована на бак, як ключовий пристрій.

Автомобілі, шо працюють на водні, використовують певний тип паливної комірки, яку називають протонно-обмінною мембраною PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell). PEMFC – це низькотемпературний тип паливних елементів, що використовувалися в космосі компанією General Electric, США

Новий метод створення 3D фрактального потокового поля з використанням пластин 2D плоских друкованих плат з підходом пошарового складання був запропонований в університеті Лондону (UCL). Основна проблема традиційних паливних комірок серпантинного типу полягає в тому, що ці паливні комірки можуть затоплюватися водою. В роботі [3] ця проблема була вирішена. Було розроблено фрактальне поточне поле з шляхами виходу повітря, модифікованими з попередньої конструкції, що забезпечило чудову продуктивність звичайних односерпантинних елементів при різних умовах експлуатації, навіть при 100% відносній вологості реагенту.

Кілька шарів 2D плоскої друкованої плати, кожна пластина якої складається з певного покоління фрактальної структури потік-поле, як показано на рисунку 2, були зібрані для створення катодного потоку-поля з 3D ієрархічною, фрактальною геометрією.

Катодне фрактальне поле потоку, що використовує ієрархічну фрактальну структуру з 5 поколінь (generation), при цьому потік повітря через це поле потоку відбувався від одного входу до 1024 виходів, охоплюючи ефективну площу MEA 25 см^2. Кожна з розеток 5-го покоління мала розміри 400 мкм×800 мкм, з відстанню між сусідніми розетками 1,18 мм. Крім того, через цю відстань проходив поверхневий вертикальний шлях потоку шириною та глибиною 0,5 мм.

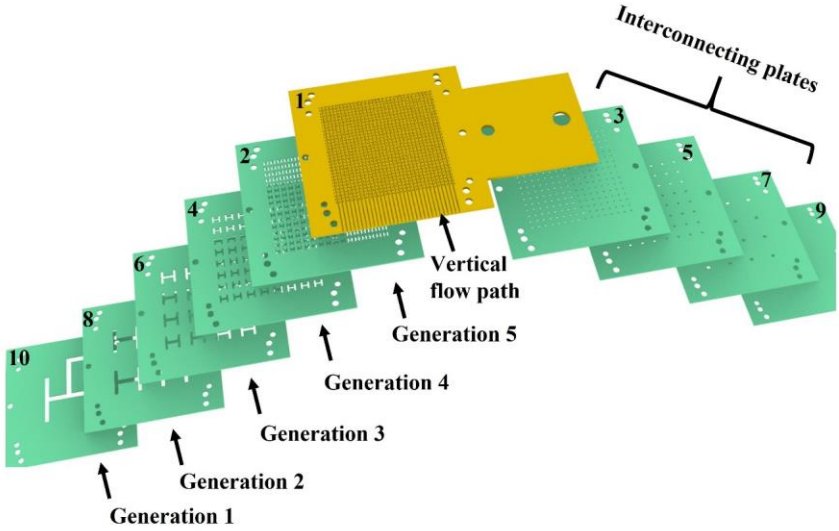


Рисунок 2 - Схематичний контур і порядок 2D плоских пластин друкованих плат (поколінь і з'єднувальних пластин), використаних для розробки 5-поколінної катодної фрактальної пластини з потоковим полем. Пластина 1: з золотим покриттям; пластини 2 – 10: звичайні друковані плати.

В університеті «Житомирська політехніка» запропоновано систему фрактальних паливних комірок, яка має аналогічну структуру, що показана на рис. 2, але складові частини цієї системи мають фрагменти «Х» та «Ш». Планується використати штучний інтелект для моделювання потоку води у фрактальних паливних комірках і вирішення проблеми затоплення паливних комірок водою.

Отже, два типи альтернативного палива: відновне дизельне паливо для автомобілів з ДВЗ та водень для автомобілів з паливними комірками видається перспективними для України. Автомобілі з ДВЗ, які оснащені системою SCR (selective catalytic reduction) потребують додаткового дослідження у випадку використання відновного дизельного палива. Паливні комірки фрактального типу потребують додаткового дослідження для вирішення проблем затоплення паливних комірок водою.

Список використаних джерел

1. Kenneth K. and Ragatz A. 2018. Economy and Emissions Impacts from Solazyme Fuel in UPS Delivery Vehicles. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5400-68896. https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/68896.pdf.

2. Колодницька Р.В. Відновлюване дизельне паливо для автомобільного транспорту: моделювання випаровування. Технічна інженерія. 2024. Вип. 2(94). С. 3 - 8. http://ten.ztu.edu.ua/article/view/318697.

3. Bethapudi V.S., Hack J., Hinds G., Shearing P.R.,. Brett D.J.L, Coppens M.-O.. Electro-thermal mapping of polymer electrolyte membrane fuel cells with a fractal flow-field. Energy Conversion and Management. Volume 250, 2021, 114924, ISSN 0196-8904. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114924.

Колодницька Руслана Віталіївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: ruslanakolod2017@gmail.com

Kolodnytska Ruslana Vitaliivna – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, e-mail: ruslanakolod2017@gmail.com

УДК 656.073.53

Є.В. Компанієць, І.Г. Лебідь, Н.О. Лужанська

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКСПОРТУ ТОВАРІВ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ

Здійснено аналіз експортного потенціалу України. Досліджено сучасний стан ринку експорту товарів та вимоги до контрагентів при налагодженні зовнішньоторговельних зв'язків. Обґрунтовано основні чинники впливу на умови виходу українських експортерів на міжнародний ринок.

Ключові слова: *експорт товарів, міжнародна торгівля, експортний потенціал, конкуренція, маркетингові стратегії.*

The analysis of Ukraine's export potential is carried out. The current state of the goods export market and the requirements for counterparties in establishing foreign trade relations are studied. The main factors influencing the conditions for Ukrainian exporters to enter the international market are substantiated.

Keywords*: export of goods, international trade, export potential, competition, marketing strategies.*

Україна має досить великий потенціал та гарні перспективи для розвитку експорту і виходу вітчизняних товарів на міжнародний ринок. Серед ключових можливостей варто відмітити те, що: Україна має важливе географічне положення, яке сприяє доступу до ринків європейського ринку. Це може створити можливості для розширення торгівлі з різними країнами; Україна уклала Угоду про асоціацію з Європейським Союзом (ЄС), що відкрила шлях до поглибленого співробітництва та зменшення торговельних бар'єрів. Це створює можливості для збільшення експорту до країн ЄС [1]; Україна має потенціал у багатьох галузях, включаючи сільське господарство, виробництво сталі, інформаційні технології, авіаційну промисловість та інше. Цей потенціал може бути використаний для виробництва товарів для експорту; поліпшення якості товарів, відповідність міжнародним стандартам та сертифікація є ключовими елементами для залучення іноземних покупців; споживачі в усьому світі виявляють зростаючий інтерес до продукції з вищими стандартами якості та догляду за довкіллям. Саме тому українські компанії можуть скористатися цими тенденціями, пропонуючи високоякісні та екологічно чисті товари; удосконалення інфраструктури, зокрема транспортної, логістичної та митної може сприяти полегшенню торгівлі та експорту товарів. Проте, також існують виклики, такі як війна, геополітична нестабільність та бюрократичні обмеження, які можуть обмежити розвиток експорту. Усе це свідчить про потенціал України для розвитку експорту та виходу на міжнародний ринок, але досягнення успіху буде залежати від управління ризиками та розв'язання внутрішніх проблем.

Для українських експортерів основними вимогами до ринків збуту товарів вітчизняного виробництва є: 1.Ринковий потенціал: ринок повинен мати потенціал для попиту на обрану продукцію, важливо дослідити ринок та з'ясувати, чи існує попит на товари, що планують експортувати; 2. Сегментація ринку: розуміння цільової аудиторії і можливість її сегментації є важливим, адже для різних сегментів ринку потрібна різна стратегія маркетингу, відповідно до цього обравши хибну стратегію експортер буде втрачати кошти, а не отримувати прибуток від реалізації товару. 3. Конкуренція: вивчення конкурентів та аналіз їхніх дій може допомогти сформулювати конкурентну перевагу, відмітити недоліки та усунути їх, а також визначити своє місце на ринку; 4. Ризики та можливості: оцінка ризиків, пов'язаних з ринком (наприклад, зміни в законодавстві чи економічні труднощі), а також визначення можливостей є важливим атрибутом для розвитку підприємства та збуту товарів. 5. Розвинена інфраструктура: ринок повинен мати необхідну інфраструктуру для постачання товарів та послуг (транспорт, зв'язок, логістика і т. д.), адже саме це є ключовим моментом для подальшого прискорення процесів у роботі підприємства.

Для досягнення високих показників ефективності при виконанні експортних операцій слід врахувати такі вимоги до контрагентів: 1. Фінансова надійність: контрагент повинен мати стабільне фінансове становище та бути здатним виконувати фінансові зобов'язання відповідно

до умов зазначених у договорі; 2. Репутація: важливо дослідити репутацію потенційного контрагента, це може включати аналіз його минулих операцій та відгуків від інших партнерів, це допоможе виключити можливість виникнення неприємних ситуацій під час співпраці з ним; 3. Етика та цінності: відповідність цінностям підприємства-експортера та вимогам до етики є важливою, саме тому необхідно переконатися, що контрагент відповідає вашим стандартам та в процесі співпраці не буде непорозумінь на фоні невідповідності стандартам та цінностям вашого підприємства; 4. Партнерство: контрагент повинен бути готовий до партнерського співробітництва та взаємовигідних умов співпраці; 5. Правовий статус: важливо перевірити юридичний статус контрагента, його ліцензії та дозволи для ведення бізнесу.

Серед основних груп товарів вітчизняного виробництва, що найбільше експортуються на міжнародний ринок слід виділити наступні категорії:

1) Сільськогосподарська продукція: Україна відома своєю насиченістю зерновими культурами, олійними типами насіння, яйцями, м'ясом тощо. Головними чинниками, що впливають на попит, є якість продукції, ціна та можливість вільної та безпечної доставки на зовнішні ринки;

2) Інформаційні технології: Україна розвивається в галузі IT-послуг. Висока кваліфікація та конкурентоспроможність українських IT-фахівців є важливими чинниками, що впливають на попит на послуги розробників програмного забезпечення, аутсорсинг IT-проектів та інші IT-послуги;

3) Виробництво сталі та металопродукції: Україна має значну сталеву промисловість. Чинники, які впливають на попит, включають ціну сталі, якість продукції, а також торговельні відносини з іншими країнами та тарифи на імпорт сталі;

4) Харчова промисловість: продукція харчової промисловості, така як мед, консерви, солодощі, може бути популярною на міжнародному ринку. Якість та безпека є ключовими чинниками, що впливають на попит, а також наявність необхідних сертифікатів і дозволів для експорту.

Чинники, що впливають на попит, включають в себе: якість продукції, конкурентоспроможність цін, репутацію виробника на міжнародному ринку, політичну стабільність, торговельні відносини з іншими країнами, а також фактори виробництва та технологічний рівень підприємств. Для успішного виходу на міжнародний ринок, українські експортери повинні працювати над поліпшенням якості продукції та розвитком маркетингових стратегій, що враховують специфіку кожного регіонального ринку.

Список використаних джерел

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. Офіційний веб портал парламенту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011

Компанієць Євгеній Володимирович – асистент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: kevgen12345@gmail.com.

Лебідь Ірина Георгіївна – к.т.н., професор, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: i.h.lebed@gmail.com.

Лужанська Наталія Олександрівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: Natali.Luzhanska@gmail.com.

Kompaniiets Yevhenii V. – Assistant Lecturer of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: kevgen12345@gmail.com.

Lebid Iryna H. – Ph.D. (Eng.), Professor, Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: i.h.lebed@gmail.com.

Luzhanska Nataliia O. – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv e-mail: Natali.Luzhanska@gmail.com.

УДК 629.113

М.А. Кондратюк

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ N1

Обґрунтовано актуальність розробки моделі гібридного силового приводу автомобіля категорії N1 з огляду на стрімку урбанізацію, екологічні виклики та залежність від імпорту палива. Проведені експериментальні дослідження комерційного автомобіля в реальних умовах міської та приміської експлуатації. Виявлені особливості експлуатації такого автомобіля, встановлено, зокрема, значну частку руху накатом (35% шляху), що підтверджує потенціал для рекуперації енергії. Результати дослідження можуть бути використані у практиці експлуатації гібридних комерційних автомобілів

Ключові слова: *автомобіль, гібридний силовий привод, маршрут, швидкість, витрата палива, режим руху*

The relevance of developing a model of a hybrid powertrain for a category N1 vehicle is substantiated in view of rapid urbanization, environmental challenges, and dependence on fuel imports. Experimental studies of a commercial vehicle in real conditions of urban and suburban operation have been conducted. Features of the operation of such a vehicle have been identified, in particular, a significant proportion of coasting (35% of the route) has been established, which confirms the potential for energy recovery. The results of the study can be used in the practice of operating hybrid commercial vehicles.

Keywords: *vehicle, hybrid powertrain, route, speed, fuel consumption, driving mode*

В умовах стрімкої урбанізації, посилення екологічних викликів, пов'язаних з викидами автомобільного транспорту та залежністю від імпорту пального питання підвищення паливної ефективності та зниження шкідливих викидів відпрацьованих газів набуває критичного значення. Незважаючи на значні успіхи у впровадженні гібридних технологій у легкових автомобілях, їхнє дослідження та практична реалізація для малих вантажних автомобілів категорії N1 значно відстає, що створює критичну прогалину в науковому знанні та інженерній практиці [1].

Згідно даних виробників легкий комерційний транспорт категорії N1 на 75% робочого часту працюють міському режимі, використовуючи переважно традиційний ДВЗ. Останнім часом швидко набувають популярність електромобілі, наразі випускаються ряд моделей, що здатні проїжджати до 500-600 км на одній зарядці. Знижені податки, гарантія на батарею дозволяють збільшити кількість власників електромобілів, проте ці автомобілі мають ряд недоліків. Це більш висока ціна, довгий час заряджання, стрімке падіння залишкової вартості, та екологічні наслідки, пов'язані з більшою масою, високим крутним моментом, що призводить до надмірного спрацювання шин та проблеми пов'язані з необхідністю видобутком літію, утилізацією тягових акумуляторів. Найбільш оптимальним збалансованим та практичним рішенням в оглядовій короткостроковій перспективні є ширше впровадження гібридних силових установок для автомобілів категорії N1, де до традиційного ДВЗ додають потужний електродвигун з потужним акумулятором для допомоги чи повноцінного руху автомобіля на електротязі. Гібридні силові установки поєднують в собі переваги як традиційних двигунів внутрішнього згоряння, так і електричних моторів. Це досягається за рахунок того, що електродвигун має значно більший крутний момент на низьких обертах, на відміну від ДВЗ, що дозволяє ефективно розганятися. Під час гальмування та руху по інерції відбувається зворотний процес: електродвигун в режимі генератора починає заряджати батарею, тим самим заощаджуючи гальмівну систему. Отже спуски та необхідність гальмування заряджають батарею, що збільшує запас ходу, що робить їх новим джерелом енергії [2].

Поєднання роботи ДВЗ і електричного двигунів у гібридних автомобілях дозволяє досягти оптимального балансу між паливною ефективністю та тягово-швидкісними характеристиками, а головне може дозволити знизити витрати пального бо 50 % в міському циклі[3]. Так як гібридні силові установки поєднують в собі переваги як традиційних двигунів внутрішнього згоряння та електричних моторів, це дозволяє їм бути більш економічними, екологічними, потужними та

витривалими, ніж чисто електричні моделі, особливо для тривалих маршрутів. Наразі провідні країни-виробники автомобілів, такі як Китай, Японія та країни Європейського Союзу, активно впроваджують різноманітні стимули для придбання гібридних транспортних засобів, намагаючись збільшити їх частку на ринку. Наразі провідні країни виробники автомобілів, такі як Китай, Японія та країни ЄС активно впроваджують економічні стимули для придбання гібридних транспортних засобів, прагнучи збільшити їх часту на ринку. Ефект економії пального для micro-HEV, MHEV та HEV заощаджує 3,5%, 16% і 20% витрати дизельного пального відповідно порівняно з традиційною силовою установкою у змішаному циклі. Передбачається, що вартість зарядки, акумуляторів через поширеність та розвиток технологій буде знижуватися, а ціна на нафтове пальне буде стабільно зростати [4].

За відсутності сучасного гібридного автомобіля категорії N1, предметом дослідження стали умови експлуатації популярної моделі класу N1, яку щодня використовують в компанії для розвезення товарів широкого вжитку повний робочий день в Києві та області. Це вантажний автомобіль MERSEDES SPRITNER 208 cdi, дизель об'ємом 2143см3, 105кВт, клас екологічності Євро 6. Автором було проведено експериментальне дослідження в реальних умовах експлуатації автомобіля Mercedes-Benz Sprinter (категорія N1) на заданому маршруті, звичайний робочий день (звіт по пробігу).

Звіт по пробігу

за період з 09.05.2025 0:00:00 по 09.05.2025 23:59:59 (UTC +3)
Generation date: 12.05.2025 12:22:11

Дата	Пробіг	Час руху	Час простою	Середня швидкість	Максимальна швидкість	Початок руху	Закінчення руху
КА4122ВМ							
Разом	126,8	4:26:43	19:33:16	28,5	113	7:34	18:44

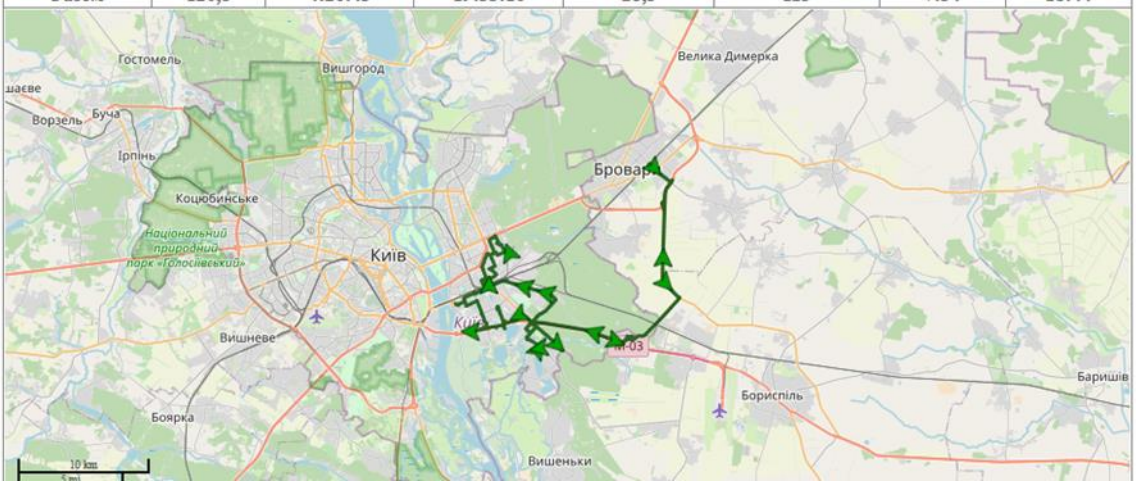


Рисунок 1 - Реальний маршрут руху дослідження 9 травня 2025р.

На першому етапі метою було здійснити попередній аналіз паливної ефективності, швидкості та манери водіння. Для цього використовувалися дані бортового комп'ютера автомобіля, що відповідає екологічному стандарту Євро 6 з вбудованою системою навчання для економічного водіння. Протягом повного робочого дня досліджуваного автомобіля фіксувалися показники витрати палива та оцінка стилю керування водія під час близько 20 зупинок на маршруті на основі звітів про поїздку на кожному відрізку шляху. Програма знімає бали за різкий розгін та гальмування, заохочує перемикати передачі в потрібний момент та максимально використовувати силу інерції.

Отримані дані були систематизовані у табличній формі, на основі чого були побудовані попередні графіки витрати палива та швидкості. Ці графіки слугуватимуть основою для порівняння подальших, більш детальних досліджень. Для цього паралельно здійснювався збір розширених даних за допомогою OBDII-сканера Vgate iCar Pro Bluetooth 4.0 та додатку Torque PRO. Отриманий масив даних обсягом 7 МБ буде використаний на наступних етапах для побудови та аналізу деталізованих графіків швидкості, поздовжнього нахилу дороги та використаної потужності двигуна за допомогою програми Mathcad Simulink.

На рис. 2, 3 наведені графіки середньої витрати палива і середньої швидкості руху автомобіля протягом дня.

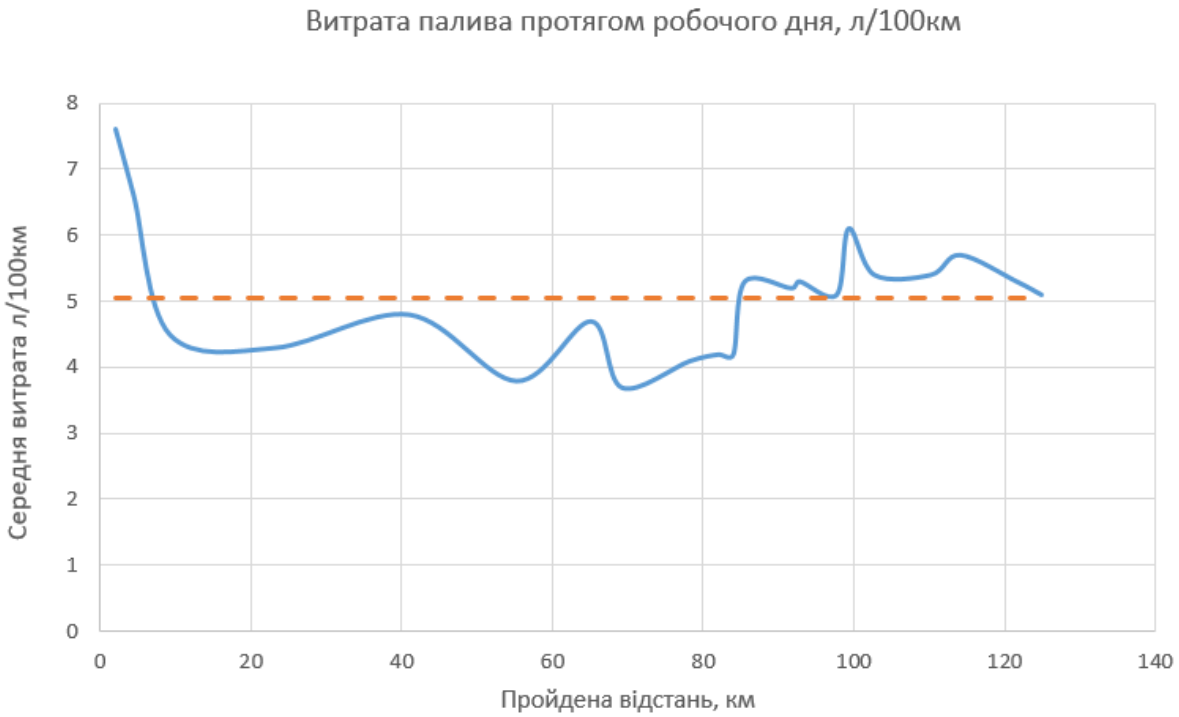


Рисунок 2 - Графік зміни середньої витрати палива на маршруті

Графік демонструє природнє збільшення витрати на коротких відстанях та особливо на не прогрітому двигуні та зниження при русі на трасі та в місцях з нахилом дороги. Також встановлено 35% маршруту, а це 44,2км було подолано накатом (за рахунок сили інерції та нахилу дороги), що відповідає попереднім дослідженням. Щодо середньої швидкості показники швидкості бортового ПК були звірені з даними GPS і завищують швидкість на 3 км/год.

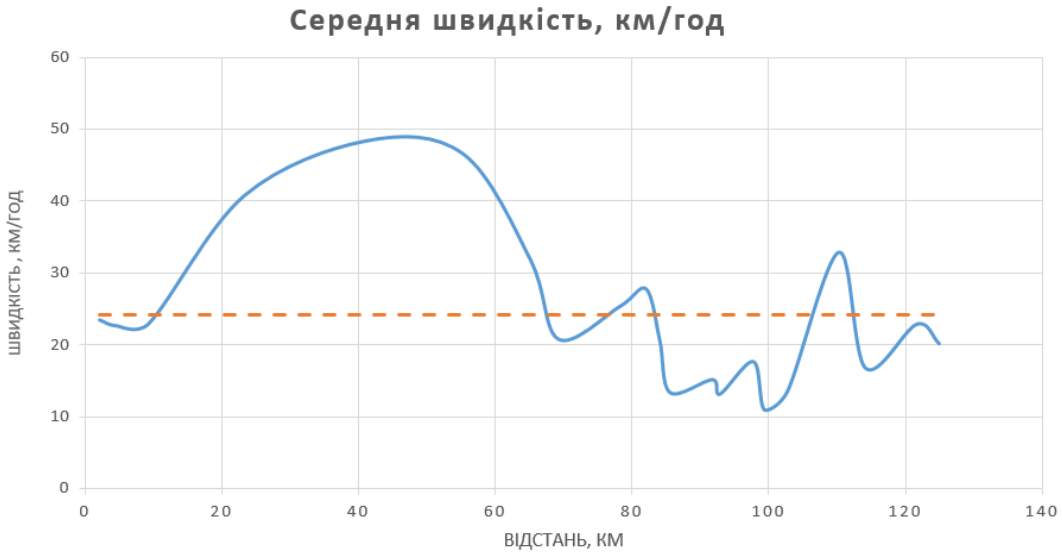


Рисунок 3 - Графік зміни середньої швидкості на маршруті.

У процесі експерименту пройдена відстань становила 125 км, середня витрата пального склала 5,07 л/100 км, середня швидкість 24 км/год, час руху без простоїв 5 годин, 10хв.

Показники витрати пального бортового ПК були перевірені методом заправки «від баку до баку», дані занижені на 6%.

Проведене дослідження умов експлуатації вантажного автомобіля категорії N1 в умовах міського та приміського циклу є логічним продовженням світових наукових пошуків, спрямованих на підвищення паливної ефективності та зниження шкідливих викидів автомобільного транспорту. Результати, отримані нами на прикладі автомобіля Mersedes-Benz Sprinter, узгоджуються з висновками попередніх дослідників, які довели значну перевагу гібридних силових установок (HEV та PHEV) над традиційними ДВЗ. Зокрема, їх дослідження підтвердили, що PHEV мають в 10 разів менший рівень викидів твердих частинок, а HEV демонструють на 41% кращу паливну ефективність в міських умовах. Отримані експериментальні дані свідчать про те, що 35% усього шляху було подолано накатом і це корелює з основним принципом гібридних систем, які використовують силу інерції при гальмуванні та рух по інерції при рекуперації для зарядки тягових акумуляторів. Таким чином, це попереднє дослідження відтворює реальні експлуатаційні цикли, надаючи конкретні емпіричні дані для математичного моделювання , що в свою чергу, дозволить визначити оптимальні конфігурації гібридних установок для легких вантажних автомобілів, тим самим заповнюючи критичні прогалину, на яку вказують дослідники з усього світу.

Метою подальших досліджень буде розробка математичної моделі, яка складе основу для створення моделі гібридної силової установки вантажівки категорії N1 з визначенням її оптимальних параметрів. Теорія оптимізації буде застосована для пошуку оптимальних параметрів конструкції та режимів експлуатації з метою досягнення максимальної ефективності, а саме мінімальної витрати палива, при достатніх тягово-швидкісних властивостях в заданих умовах. Саме моделювання дозволить вам ефективно дослідити вплив різних конфігурацій гібридного приводу на тягово-швидкісні властивості та паливну економічність в змодельованих умовах експлуатації, які будуть ґрунтуватися на отриманих даних.

Висновки. Проведені експериментальні дослідження комерційного автомобіля в реальних умовах міської та приміської експлуатації. Виявлені особливості експлуатації такого автомобіля, встановлено, зокрема, значну частку руху накатом (35% шляху), що підтверджує потенціал для рекуперації енергії. У процесі експерименту пройдена відстань становила 125 км, середня витрата пального склала 5,07 л/100 км, середня швидкість 24 км/год. Ці дані будуть використані при математичному моделюванні роботи гібридного автомобіля у міських та заміських умовах експлуатації.

Список використаних джерел

1. D Lekaki, M Kastori, G Papadimitriou, G Mellios, D Guizzardi, M Muntean, M Crippa Road transport emissions in EDGAR (emissions Database for global atmospheric research)

Atmospheric Environment, 2024•Elsevier

2. Гібридні силові установки легкових автомобілів : навчальний посібник. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 193 с. ISBN 978-617-529-282-2.

3. Шалапко Д.О. Гібридна силова установка вантажного автомобіля як перспективний напрямок розвитку галузі / Шалапко Д.О., Пирисунько М.А., Руденко О.В., Андрієнко Г.О. // Моделювання та інформаційні технології в науці, техніці та освіті / Збірник наукових праць Міжнародної науково практичної Internet-конференції Харків: ХНАДУ. – 2018, с. 230-234

4. Haoran Hu, Simon J. Baseley, Xubin Song (2021) Advanced hybrid Powertrains Commercial vehicles.SAE International ISBN: 978-1-4686-0136-7

Кондратюк Микола Андрійович – магістр, Національний транспортний університет, аспірант кафедри автомобілів. e-mail: nikolaykondratyuk86@gmail.com

Kondratjuk Mukola A., post-graduate student of the department of automobiles, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: nikolaykondratyuk86@gmail.com

УДК 621.436.12

А.О. Корпач, О.О. Левківський, О.А. Корпач

МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛІВ

Розглянуто різні типи систем, що використовуються для подачі палива в автомобільних дизелях. Визначено переваги та недоліки кожного з типів паливної системи та описано можливі несправності і методи їх діагностування. Особливо увагу приділено використанню неінтрузивних методів діагностування паливних систем типу Common Rail.

Ключові слова: *дизель, паливна система, паливний насос високого тиску (ПНВТ), форсунка, насос-форсунка, Common Rail.*

The article examines various types of systems used for fuel supply in automotive diesel engines. The advantages and disadvantages of each type of fuel system are identified, and possible malfunctions along with diagnostic methods are described. Particular attention is paid to the use of non-intrusive diagnostic methods for Common Rail fuel systems.

Keywords: *diesel, fuel system, high-pressure fuel pump (HPFP), injector, unit injector, Common Rail.*

Система впорскування палива є ключовим елементом дизеля, що безпосередньо впливає на його надійність, потужність, паливну економічність та екологічні показники. Існує декілька основних типів систем впорскування: механічні системи, насос-форсунки та системи впорскування акумуляторного типу Common Rail [1]. Кожна з них має свої переваги та недоліки, а вибір залежить від сфери застосування двигуна.

Механічні системи впорскування можуть мати рядний або розподільний (роторний) паливний насос високого тиску (ПНВТ). Вони вирізняються простотою конструкції та високою надійністю, а також можуть добре працювати з паливом низької якості та не потребують складного обслуговування. Проте, ці системи мають низьку точність дозування палива, що призводить до підвищеної витрати дизельного палива, високого рівня шуму та викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ). Через це вони все рідше застосовується в сучасних автомобільних дизелях, для яких суворо регламентуються норми викидів шкідливих речовин з ВГ.

Система впорскування з насос-форсунками є проміжним варіантом між механічною і електронною системами. У даній системі кожен циліндр має окрему насос-форсунку, яка забезпечує дуже високий тиск подачі палива. Це дозволяє досягти високої потужності, одночасно забезпечуючи паливну економічність. Насос-форсунки можуть мати або механічне, або електронне управління. У випадку електронного управління насос-форсунка має вбудований електромагнітний або п’єзо клапан, який дозволяє точно дозувати кількість палива та виконувати подачу декількох доз палива за один цикл, що позитивно впливає на зниження шуму та викидів шкідливих речовин з ВГ, особливо твердих часток. Однак, дана система складна у виробництві та ремонті, а також має меншу гнучкість управління в порівнянні з паливними системами акумуляторного типу.

Паливні системи акумуляторного типу Common Rail є найсучаснішими і набули широкого поширення та використовуються в дизелях легкових та комерційних автомобілів. Вони дозволяють створювати дуже високий тиск впорскування та забезпечують багатофазну подачу палива, що знижує рівень шуму, покращує розпилення палива і забезпечує максимальну ефективність згоряння. Даний тип паливної системи може мати різну конструкцію ПНВТ та форсунок (електромагнітні або п’єзо). Паливна система Common Rail дозволяє відповідати екологічним стандартам Євро-6. Проте така система дуже чутлива до якості палива, потребує ефективної фільтрації палива та професійного обслуговування і ремонту.

При виході з ладу будь-якого з перелічених типів паливної апаратури дизеля, можуть спостерігатись наступні симптоми: погіршення запуску двигуна, нестабільна робота на холостому ходу та з навантаженням, підвищений рівень викидів шкідливих речовин з ВГ, зниження потужності та підвищена витрата палива. Серед основних причин виходу з ладу

паливної апаратури можуть бути: використання забрудненого або неякісного палива, механічне зношення деталей паливної апаратури та несправність системи управління [2].

Основний метод діагностики ПНВТ і форсунок будь-якого з типів паливної системи полягає в демонтажі даних компонентів з двигуна та їх перевірці на спеціальних стендах (рис. 1). Сучасні стенди для перевірки паливної апаратури дизеля виконують автоматичну перевірку працездатності даних компонентів відповідно до заданих параметрів, що дозволяє визначити та усунути можливі дефекти [3].



Рисунок 1 – Стенд для перевірки ПНВТ і форсунок механічної паливної системи

На відміну від механічних паливних систем дизеля, паливні системи з електронним управлінням також дозволяють виконувати діагностування без демонтажу ПНВТ та форсунок з двигуна, використовуючи для оцінки працездатності дані, отримані з вбудованих клапанів та датчиків. У таких системах діагностування можна виконувати як за допомогою штатного програмного забезпечення виробника, зчитуючи дані з бортової системи OBD (On-Board Diagnostics), так і за допомогою цифрового осцилографа, зчитуючи дані безпосередньо з датчиків [4].

Бортова система діагностики двигуна контролює тиск в паливній системі, положення виконавчих механізмів та інші робочі параметри двигуна (наприклад, частоту обертання колінчастого вала). У випадку відхилення цих параметрів від запрограмованих значень реєструє код помилки відповідно до Європейського стандарту ISO 15031-6:2015. Зчитування та розшифрування коду помилки дозволяє визначити, який саме параметр не відповідає заданим значенням та виявити можливі дефекти.

Використання цифрового осцилографа є універсальним методом діагностування, оскільки підходить для перевірки паливної системи будь-якого виробника. Для комплексної перевірки паливної системи Common Rail необхідно перевірити продуктивність ПНВТ, герметичність паливного контуру високого тиску, а також продуктивність паливних форсунок. Окремо можливо перевірити роботу клапанів дозування палива та регулювання тиску [5].

Для перевірки продуктивності ПНВТ необхідно виключити вплив клапана дозування палива, від’єднавши його живлення. В такому режимі в паливну рампу буде надходити максимально можливий об’єм палива, а заданий тиск буде підтримуватись лише за допомогою

клапана регулювання тиску. Цифровий осцилограф необхідно підключити до датчика тиску палива та клапана регулювання тиску. Максимально повний аналіз продуктивності паливної системи високого тиску можна зробити в наступних режимах роботи двигуна: запуск, робота в режимі мінімальної частоти холостого ходу, різке прискорення двигуна, робота в режимі максимальної частоти холостого ходу, різке зниження частоти обертання колінчастого валу, стабілізація обертів холостого ходу (рис. 2).

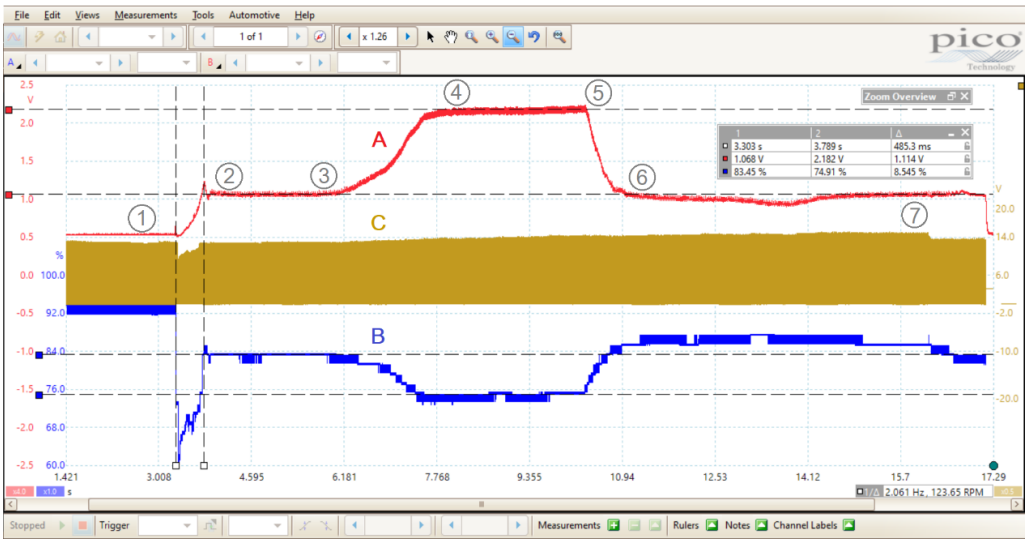


Рисунок 2 – Осцилограма перевірки продуктивності паливної системи Common Rail

Цифровий осцилограф також можна використовувати для перевірки електронного управління паливними форсунками системи Common Rail. Перевірка напруги та сили струму в процесі активації форсунок дозволяє визначити зниження продуктивності паливних форсунок в результаті засмічення або заклинювання пристрою дозування. Крім того, ефективним методом перевірки паливних форсунок, вважається контроль витрати палива через зворотню магістраль. Оскільки до кожної форсунки Common Rail подається однаковий тиск і, відповідно, однакова кількість палива, якщо в певної форсунки, за один цикл впорскування погіршиться розпилення, більше палива буде повертатись через зворотню магістраль. Таким чином, контролюючи кількість палива, що повернулась з кожної форсунки протягом певного часу, можливо можна визначити форсунку, яка має недостатню подачу палива (наприклад, через забруднення розпилювача). Аналогічно, можна визначити форсунку з дефектним запірним механізмом, яка матиме надмірну витрату палива [6].



Рисунок 3 – Перевірка витрати палива через зворотню магістраль паливних форсунок.

Висновки. Основним методом діагностування компонентів паливної системи дизеля є виконання перевірки на спеціальному стенді. Сучасні паливні системи з електронним управлінням дозволяють виявляти дефекти без демонтажу компонентів, використовуючи систему бортового діагностування або цифровий осцилограф. Це дозволяє підтримувати елементи паливної системи та всю систему дизеля в технічно справному стані, зменшувати витрату палива та викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Список використаних джерел

1. Gus Wright. Fundamentals of medium-heavy duty diesel engines. - Burlington, Massachusetts: Jones and Bartlett Learning, 2015 - 1394 p.
2. Konrad Reif. Diesel Engine Management. Systems and Components. - NY: Springer, 2014. - 370p.
3. Bosch automotive handbook. 11th edition. – Germany: Robert Bosch GmbH, 2022. – 2044p.
4. G. Stoakes. Automotive oscilloscope wave form analysis. 1st edition. - UK: Graham Stoakes, 2017. – 200p.
5. Корпач А.О. Використання цифрового осцилографа для перевірки технічного стану паливної апаратури дизеля / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури: збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2023 - С. 255-258.
6. T. Denton. Advanced automotive fault diagnosis. 5th edition. - London: Routledge, 2021. – 396p.

Корпач Анатолій Олександрович - к.т.н., професор, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: akorpach@ukr.net

Левківський Олександр Олександрович - к.т.н., інструктор з технічного навчання, Товариство з обмеженою відповідальністю «Віннер Імпортс Україна ЛТД», м. Київ, e-mail: oleksandr.levkivskyi@gmail.com

Корпач Олексій Анатолійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: korpach1988@gmail.com

Korpach Anatolii O. – Ph.D(Eng), Professor of the Department of Engines and Heating Engineering, National Transport University, Kyiv, e-mail: akorpach@ukr.net

Levkivskyi Oleksandr O. – Ph.D(Eng), technical trainer, Limited Liability Company «Winner Imports Ukraine LTD», Kyiv, e-mail: oleksandr.levkivskyi@gmail.com

Korpach Oleksii A. – Ph.D., associate professor, Associate Professor of the Department of Automobiles, National Transport University, Kyiv, e-mail: korpach1988@gmail.com

УДК 656.078

В.І. Котенко, О.В. Бондарук

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

Розглянуто особливості застосування трьох алгоритмів маршрутизації: методу Кларка–Райта, алгоритму Дейкстри та мурашиного алгоритму для оптимізації процесів доставки вантажів. Визначено основні переваги та обмеження кожного з підходів за критеріями точності, гнучкості та складності реалізації. Досліджено ефективність мурашиного алгоритму на платформі Ant-Logistics, що дає змогу зменшити транспортні витрати на 20-25%.

Ключові слова: *маршрутизація, метод Кларка–Райта, алгоритм Дейкстри, мурашиний алгоритм, Ant-Logistics, оптимізація доставки, транспортна логістика.*

The materials examines the application features of three routing algorithms – the Clarke-Wright method, Dijkstra's algorithm, and the Ant Colony Optimization algorithm – for optimizing freight delivery processes. The main advantages and limitations of each approach are identified in terms of accuracy, flexibility, and implementation complexity. The efficiency of the Ant Colony algorithm within the ***Ant-Logistics*** *platform is analyzed, demonstrating its ability to reduce transportation costs by 20 – 25%.*

Keywords: *routing, Clarke-Wright method, Dijkstra's algorithm, Ant Colony algorithm, Ant-Logistics, delivery optimization, transport logistics.*

Ефективна маршрутизація під час доставки вантажів є ключовою умовою підвищення продуктивності автотранспортних підприємств та логістичних операторів. Від оптимізації маршрутів залежить скорочення витрат палива, часу доставки та рівня використання автопарку. У сучасній практиці для вирішення задач маршрутизації найчастіше застосовуються метод Кларка–Райта, алгоритм Дейкстри та метаевристичний алгоритм колонії мурах (Ant Colony Optimization, ACO).

Метод Кларка-Райта є класичним евристичним алгоритмом, що формує маршрути за принципом економії пробігу або часу. Його перевага – висока швидкість обчислень та простота реалізації. Сутність даного алгоритму полягає у визначенні раціональних маршрутів із впорядкованими пунктами завозу та підбором кількості рухомого складу й вантажопідйомності автомобілів [1]. За результатами дослідження [2], похибка рішень методу не перевищує 5–10 %, а головними перевагами є простота, надійність і гнучкість, що дозволяє враховувати низку додаткових факторів – від завантаженості автомобіля до можливості поєднання розвізних і збірних маршрутів. Покращені версії цього алгоритму, згідно з дослідженнями [2], забезпечують середнє відхилення від оптимального рішення лише 0,14 % на тестових даних, проте ефективність знижується при ускладненні обмежень (наявності часових вікон та декількох вантажовідправників).

Алгоритм Дейкстри застосовується для пошуку найкоротшого шляху між вузлами графа [3]. Він гарантує 100 % точність результату, проте не розв'язує багатоточкових задач маршрутизації і не враховує логістичних обмежень. Його роль у транспортних системах полягає у побудові матриць відстаней між пунктами доставки або визначенні локальних маршрутів [4].

Алгоритм колонії мурах належить до метаевристичних алгоритмів, що імітують поведінку колоній комах під час пошуку оптимальних шляхів. Завдяки самоорганізації та механізму "феромонів" мурашиний алгоритм здатен ефективно адаптуватися до складних умов. За даними авторів [5], відхилення результатів даного алгоритму від оптимального рішення не перевищує 1–2 %, а швидкість обчислень досить високою для задач середнього масштабу.

Проведено порівняльний аналіз зазначених алгоритмів маршрутизації за критеріями точності (знаходження найбільш оптимального рішення), гнучкості (врахування обмежень) та складності застосування (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Порівняння алгоритмів маршрутизації для оптимізації доставки вантажів

Ознака	Метод Кларка-Райта	Мурашиний алгоритм	Алгоритм Дейкстри
Точність	Удосконалений варіант забезпечує 0,14 % відхилення від оптимуму [2].	Висока наближена якість – відхилення 1–2 % від оптимуму на стандартних задач маршрутизації [5]; можливість до масштабованості при реальних обмеженнях [6].	Забезпечує точний пошук найкоротшого шляху, але не підходить для задач маршрутизації з багатьма точками без додаткових модулів [3; 4].
Гнучкість та врахування обмежень	Обмежена; враховує лише базові параметри (вантажопідйомність, час роботи на маршруті тощо) [1;2].	Висока; підтримує наявність часових вікон, вантажопідйомність, пріоритетність та динамічний попит [5; 6].	Низька; не враховує додаткових обмежень [4].
Складність застосування	Середня: алгоритм простий у реалізації, може виконуватися у табличних або базових програмних середовищах (Excel, Visual Basic), що робить його придатним для невеликих транспортних підприємств [1; 2; 7].	Висока: потребує налаштування параметрів (α, β, ρ), калібрування кількості ітерацій тощо [5; 6].	Середня: алгоритм реалізується у більшості мов програмування; необхідно задати матрицю відстаней і список вершин [3; 8].

Незважаючи на те, що метод Кларка–Райта демонструє вищу точність у простих задачах маршрутизації, алгоритм колонії мурах має значно більшу практичну цінність. Завдяки стохастичному характеру пошуку та адаптивному механізму феромонів мурашиний алгоритм ефективно працює в умовах змінного трафіку, різноманітного транспортного парку та складних обмежень щодо доставки вантажів. Це робить його придатним для динамічної маршрутизації у реальному часі, де точні методи не встигають перебудовувати рішення.

Сьогодні українські транспортні компанії мають можливість використовувати алгоритм колонії мурах для оптимізації маршрутів через використання платформи Ant-Logistics. Програмний комплекс Ant-Logistics [9] реалізує практичну модифікацію алгоритму колонії мурах для оптимізації маршрутів доставки в реальному часі. Система враховує координати клієнтів, часові вікна, пріоритети, характеристики транспортних засобів і динамічні фактори (трафік, погодні умови). За даними компанії-розробника, впровадження Ant-Logistics на українських підприємствах дозволяє зменшити транспортні витрати на 20–25 % та підвищити ефективність використання транспорту [9; 10].

Порівняльний аналіз показав, що для доставки вантажів найефективнішим є поєднання класичних і метаевристичних методів маршрутизації. Метод Кларка-Райта забезпечує швидке формування розвізно-збірних маршрутів для стабільних перевезень, тоді як мурашиний алгоритм є більш гнучким і придатним для динамічної оптимізації маршрутів із урахуванням часових вікон, місткості транспортних засобів та змін дорожньої ситуації. Алгоритм Дейкстри доцільно застосовувати як допоміжний інструмент для розрахунку найкоротших відстаней у транспортній мережі.

Список використаних джерел

1. Гужевська Л. А., Даниленко І. В. Формування розвізно-збірних маршрутів методом Кларка-Райта при доставці експрес-відправлень // *Вісник Національного транспортного університету.* – 2016. – № 1. – С. 122–129. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2016_1_17 (дата звернення 02.10.2025).

2. Гужевська Л. А., Даниленко І. В. Формування розвізно-збірних маршрутів методом Кларка-Райта при доставці експрес-відправлень // *Вісник Національного транспортного університету.* – 2016. – № 1. – С. 122–129. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2016_1_17 (дата звернення 02.10.2025).

3. Pichpibul T., Kawtummachai R. An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem // *ScienceAsia.* – 2012. – Т. 38. – С. 307–315. – DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2012.38.307.

4. Aviram N., Shavitt Y. Optimizing Dijkstra for real-world performance // *arXiv preprint.* – 2015. – DOI: 10.48550/arXiv.1505.05033.

5. Bell J. E., McMullen P. R. Ant Colony Optimization techniques for the vehicle routing problem // *Advanced Engineering Informatics.* – 2004. – Т. 18, № 1. – С. 41–48. – DOI: 10.1016/j.aei.2004.07.001.

6. Тимчук О., Проценко Я., Парамонов А. Застосування алгоритму мурашиної колонії до вирішення задачі декількох комівояжерів без депо // *Системи обробки інформації.* – 2019. – № 3(158). – С. 73–78. – DOI: 10.30748/soi.2019.158.08.

7. Fikejz J., Brázdová M., Jánošíková Ľ. Modification of the Clarke and Wright Algorithm with a Dynamic Savings Matrix // *Journal of Advanced Transportation.* – 2024. – Стаття ID 8753106. – 15 с. – DOI: 10.1155/2024/8753106.

8. Udhan P., Ganeshkar A., Murugesan P., Permani A., Sanjeeva S., Deshpande P. Vehicle Route Planning using Dynamically Weighted Dijkstra's Algorithm with Traffic Prediction // *arXiv preprint.* – 2022. – DOI: 10.48550/arXiv.2205.15190.

9. Ant-Logistics. Офіційний сайт компанії. – URL: https://ant-logistics.com/ua (дата звернення 10.10.2025).

10.Праймак О. Інтерв'ю: Як Ant-Logistics допомагає компаніям оптимізувати логістику // *Solve Marketing Agency Blog.* – URL: https://solve-marketing.agency/blog/en/interv-iu/oleksiy-prymak-en/ (дата звернення 10.10.2025).

Котенко Вікторія Ігорівна – доктор філософії, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м.Луцьк, e-mail: viktoriia.kotenko@lutsk-ntu.com.ua

Бондарук Олександр Валерійович **–** студент групи ТТм -21, кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м.Луцьк, e-mail:, e-mail: bondaruk.o0405.275.24@lntu.edu.ua

Kotenko Viktoriia I. – PhD(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, e-mail: viktoriia.kotenko@lutsk-ntu.com.ua

Bondaruk Oleksandr V. – student of group TTm-21, Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, e-mail: bondaruk.o0405.275.24@lntu.edu.ua

УДК 621.372.542; 681.518

Д.О. Котов, В.В. Клименко, О.О. Бондаренко, С.М. Тарасенко, Ю.М. Петрик

ПРОБЛЕМА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Збільшення швидкості та обсягів інформації, що передається у сучасних інформаційно-керуючих систем (далі – ІКС) автомобілів, у тому числі військового призначення, призводить до високої динаміки зміни завадо-сигнальної обстановки та непередбачуваності параметрів завад. Це, у свою чергу, актуалізує проблему відновлення інформаційних процесів в умовах впливу зовнішніх та внутрісистемних завад, особливо в умовах апріорної невизначеності, коли невідомі кількість джерел шумових завад, їх розташування у просторі та інтенсивність.

Ключові слова: *інформаційно-керуюча система, автомобілі військового призначення, завада, апріорна невизначеність, інформаційний процес.*

The increase in the speed and volume of information transmitted in modern information and control systems of vehicles (ICS), including those for military use, leads to highly dynamic changes in the interference-signal environment and unpredictability of interference parameters. This, in turn, raises the issue of restoring information processes under the influence of external and internal interference, especially in conditions of a priori uncertainty, when the number of noise sources, their location in space and intensity are unknown.

Keywords: *information and control system, military vehicles, obstacle, a priori uncertainty, information process.*

Аналіз розвитку озброєння та військової техніки (далі – ОВТ) провідних країн світу та їх застосування у сучасних воєнних конфліктах свідчить про те, що вимоги до зразків ОВТ постійно зростають. Розвиток сучасних інформаційних технологій та автоматизації у військовій сфері набуває все більшого значення у сучасному світі. Збройні Сили (далі – ЗС) України не залишаються осторонь від цієї глобальної тенденції, активно впроваджуючи роботизовані системи для збереження особового складу, підвищення бойової ефективності та забезпечення національної безпеки держави. Тому, перед керівництвом ЗС України у сучасній воєнно-політичній обстановці та в умовах трансформації сучасного мультимодального бойового середовища, актуалізується проблематика визначення шляхів щодо модернізації існуючих та створення нових зразків ОВТ, які б відповідали вимогам сучасності [1, 2].

Підвищення стійкості (ефективності) функціонування ІКС автомобілів військового призначення в умовах впливу завад як зовнішнього походження, так і внутрісистемної невизначеності, залишається актуальним завданням [3-6]. Воно може бути розв’язане шляхом удосконалення існуючих методів, розробки нових математичних моделей та алгоритмів тестування ІКС автомобілів військового призначення, що враховують специфічні умови його функціонування в мультимодальних бойових сценаріях [7].

У контексті дослідження предметна область властивостей автомобілів військового призначення з інформаційно-керуючою системою у конфліктних та невизначених умовах експлуатації, найкраще описується двома моделями, зокрема [8, 9]:

варіантом фізичної моделі, який відображає матеріальні атрибути адаптивного автомобіля військового призначення за допомогою компонентів підсистем узагальненої конструкції з вимірювальною системою датчиків отримання інформації та системою адаптивного управління, а також матеріалізовані елементи середовища технологічної взаємодії у вигляді різносенсорних каналів прийому та обробки сигналів та різних джерел електромагнітних збурень;

варіантом аналітичної моделі, що відображає систему формалізації процесів інформаційної взаємодії об’єкта із середовищем експлуатації з об’єктами, яка представлена впорядкованою безліччю (вектором) вихідних даних, логічними та аналітичними виразами, алгоритмами чи правилами їх побудови.

У кожному варіанті реалізації зазначених вище моделей критичним стає проблема точності опису (формалізації) та обліку різноманітних шумових завад довільної інтенсивності, які неминуче присутні в ІКС автомобілів військового призначення.

Застосування методів, заснованих на інверсії кореляційної матриці спостережень (зворотній метод) для рішення задачі забезпечення стійкого функціонування ІКС автомобілів з різносенсорними каналами інформаційної взаємодії характеризується втратою обчислювальної стійкості в умовах апріорної невизначеності на фоні шумових завад довільної інтенсивності та внутрісистемних завад. Втрата обчислювальної стійкості унеможливлює отримання оптимального рішення, особливо при інформаційній надлишковості або збитковості в ІКС автомобілів, тобто рішення задачі відновлення лежить у площині процесів, які спостерігаються;

В альтернативу зворотнім методам, прямі методи основані на інверсії кореляційної матриці тестових (опорних) сигналів, що дає можливість відновлення корисної інформації (наприклад зображень) в умовах апріорної невизначеності на фоні шумових завад довільної інтенсивності, так як, в такому випадку, рішення задачі відновлення лежить у площині тестових (опорних) сигналів (зображень).

Отже прямі методи характеризуються інваріантністю процесу адаптації ІКС автомобілів до рівня шумових завад негаусової форми та їх просторового спектру. При цьому час та особливість налаштування системи на рівень і форму завад та їх просторовий спектр як для системи із зовнішнім так і для системи із внутрішнім еталоном є одним із обмежень даного методу.

Таким чином, не достатньо дослідженими в теорії та практиці інформаційних систем є протиріччя:

- в сенсі невідповідності між прикладним програмним забезпеченням у складі існуючого математичного та програмного забезпечення сучасних зразків автомобілів військового призначення з інформаційно-керуючими системами та вимогами до перспективних зразків в частині удосконалення методів їх адаптації до впливу шумових завад довільної інтенсивності з метою забезпечення стійкого функціонування в умовах сучасного мультимодального бойового середовища;

- відсутність єдиного підходу до практичної реалізації існуючих методів та моделей до тестування ІКСА із зовнішнім та внутрішнім еталонами для підвищення стійкості функціонування таких систем на фоні впливу шумових завад довільної інтенсивності в умовах сучасного мультимодального бойового середовища.

Список використаних джерел

1. Залужний В.Ф., Шаптала С.О., Коваль В.В. та ін. Роботизовані системи військового призначення наземного, повітряного та морського базування: довідник: К.: ЦНДІ ЗС України, 2023, 96 с.

2. Залужний В.Ф., Шаптала С.О., Коваль В.В. та ін. Засади розвитку роботизованих систем в Збройних Силах України: препринт: К: ЦНДІ ЗС України, 2023, 71 с.

3.Chepkii, V., Skachkov, V., Yefimchikov, O., Nabok, V., Yelchaninov, O. A technological approach to solving the problem of minimizing the impact of destabilizing factors on the operation of distributed structures of the ground robotic complex in the integrated project “OBJECT-SYSTEM” . Collection of scientific works of the Military Academy (Odesa), 2019, Vol. 1, No11, 5-19. https://doi.org/10.37129/2313-7509.2019.11.5-19.

4. Skachkov V., Chepkii V., Yefimchikov O., Nabok, V. The problem of optimality of adaptive radio engineering systems in a situation with an unclassified training sample of observations”. Collection of scientific works of the Military Academy (Odesa), 2022, No 2 (18). 66–77. https://doi.org/10.37129/2313-7509.2022.18.66-77.

5. Skachkov V., Chepkii V., Yefimchikov O., Nabok V., Yelchaninov O. Asymptotic Optimality of Adaptive Systems with Alternative Standards in Unclassified Learning Situations. Cybernetics and Systems Analysis, 2023, Vol.59, 624–632. https://doi.org/10.1007/s10559-023-00597-9.

6. Skachkov V., Chepkii V., Yefymchykov O., Korkin O., Goncharuk A. Solving the Problem of Forming Stable and Consistent Estimates of a Correlation Matrix of Observations Using the Method of Dynamic Regularization. Cybernetics and Systems Analysis, 2021, Vol.57. https://doi.org/10.1007/s10559-021-00331-3.

7. Клименко В.В., Сухін О.В., Котов Д.О., Сердюк О.В. Аналіз джерел та причин виникнення дестабілізуючих факторів в інформаційно-керованій системі безпілотного

автомобіля. Системи озброєння і військова техніка: ХНУПС Харків. 2019. No2 (58). С. 111-121. https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.14.

8. Визначення та дослідження основних напрямків забезпечення ефективності функціонування інформаційно-керуючих каналів тилового наземного роботизованого комплексу в умовах дестабілізуючих впливів: звіт про НДР (проміжний звіт) Шифр "Бар'єр"/Військова академія; кер. В.Скачков; викон.: В.Чепкій [та ін.]. Одеса, 2017. 134 с.

9. Клименко В.В., Котов Д.О., Петрик Ю.М., Коваль Ю.І., Марченко В.П. Проблема імітаційного моделювання процесів функціонування багатосенсорної інформаційно-керуючої системи автомобіля в умовах дестабілізуючих впливів. *Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса)*. 2021. Вип. 2(16). С. 181-190. https://doi.org/10.37129/2313-7509.2021.16.181-190.

Котов Денис Олександрович – доктор філософії, доцент кафедри автомобільної техніки, Військова академія (м. Одеса), e-mail: zvyagel.zt@ukr.net.

Клименко Віктор Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри ремонту та експлуатації автомобільної та спеціальної техніки, Військова академія (м. Одеса), e-mail: viktorklymenko1971@gmail.com.

Бондаренко Олександр Олегович – ад'юнкт штатний науково – організаційного відділу, Військова академія (м. Одеса), e-mail: oleksandrbondarenko95@ukr.net.

Тарасенко Сергій Михайлович – старший викладач кафедри автомобільної техніки, Військова академія (м. Одеса), e-mail: ukrnet84@ukr.net.

Петрик Юрій Миколайович – старший викладач кафедри автомобільної техніки, Військова академія (м. Одеса), e-mail: asva.od@ukr.net.

Kotov Denys – PhD, Associate Professor of the Department of Automotive Engineering, Military Academy (Odesa), e-mail: zvyagel.zt@ukr.net.

Klymenko Viktor – PhD, Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Repair and Operation of Automotive and Special Vehicles, Military Academy (Odesa), e-mail: viktorklymenko1971@gmail.com.

Bondarenko Oleksandr – Adjunct staff member of the Scientific and Organizational Department, Military Academy (Odessa), e-mail: oleksandrbondarenko95@ukr.net.

Tarasenko Serhii – Senior Lecturer, Department of Automotive Engineering, Military Academy (Odessa), e-mail: ukrnet84@ukr.net.

Petrik Yuriy – Senior Teacher of the Department of Automotive Engineering, Military Academy (Odesa), e-mail: asva.od@ukr.net.

УДК 629.3.01

В.М. Краснокутський, М.А. Подригало, В.В. Кав'юк

ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЬ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ НА БАЗІ ТРАКТОРНОГО САМОХІДНОГО ШАСІ

Проведено аналіз досліджень, що оцінюють вантажопідйомність машинно-тракторних агрегатів (МТА) в залежності від сил тяжіння та зовнішніх опорів машин та знарядь, типів навантажень та їх перерозподілу при виконанні різних видів робіт. Вирішено завдання визначення максимально допустимої маси агрегатованої машини з урахуванням особливостей формування МТА.

Ключові слова: *тракторне самохідне шасі, машинно-тракторний агрегат, вантажопідйомність, колеса, шини.*

An analysis of studies evaluating the load capacity of machine-tractor units (MTUs) depending on the gravitational forces and external resistance of machines and implements, types of loads, and their redistribution when performing various types of work has been conducted. The task of determining the maximum permissible mass of an aggregated machine, taking into account the peculiarities of MTU formation, has been solved..

Keywords: *self-propelled tractor chassis, machine-tractor unit, load capacity, wheels, tires.*

Для переважної більшості агрегатів всі види навантажень можуть бути прийняті симетричними щодо середньої поздовжньої (умовної) площини симетрії тракторного самохідного шасі (ТСШ). Приймаємо, що всі агрегати (крім транспортних) працюють на швидкостях нижче 15 км/год, що обмежує динамічні навантаження на колеса та дозволяє використовувати запас вантажопідйомності шин, передбачений стандартом [1].

У практиці прийнято оцінювати ступінь використання вантажопідйомності шин за статичними реакціями, що пов'язано зі складністю обліку динамічного перерозподілу навантажень для кожного конкретного випадку роботи. Перерозподіл навантажень на задню вісь ТСШ для робочих умов збільшує відповідні реакції на 10%. За даними науково-дослідного інституту великогабаритних шин (м. Дніпро) перевантаження шин у зазначених межах скорочує термін їхньої служби приблизно на 20%. Тому необхідно при агрегатуванні розглядати навантаження, що виникають у статичному і динамічному стані і для розрахунку використовувати навантаження, характерні для випадку найбільшого навантаження.

Для можливості оцінки вантажопідйомності МТА розглядають їхній статичний стан для машин, а потім уточнюють на підставі аналізу відповідного динамічного стану. При аналізі вантажопідйомності необхідно насамперед визначити залежність граничних значень ваги машин від положення центру ваги МТА на підставі величин максимально допустимих значень навантажень на шини коліс ТСШ і в статичному положенні [2].

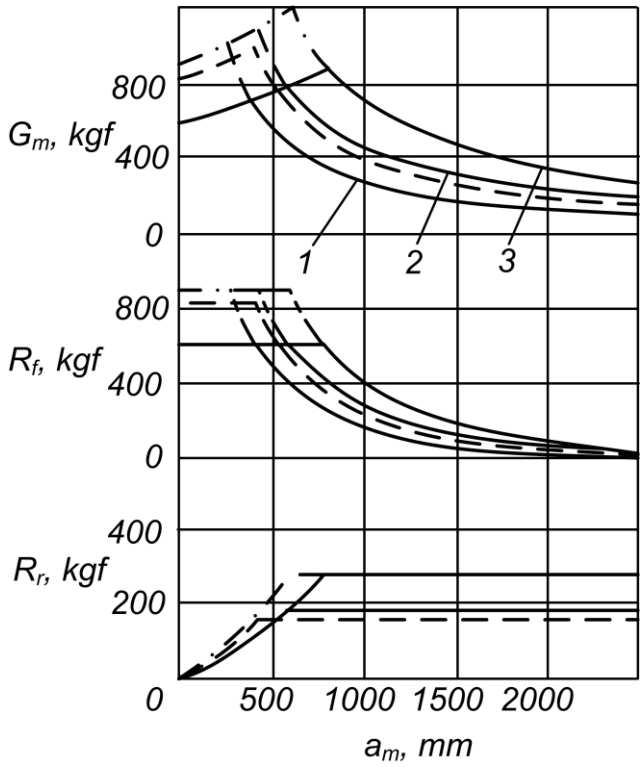
Побудовано графіки потенційної вантажопідйомності (рис. 1), її характеристик (рис. 2) та залежності максимальних значень маси (рис. 3).

Отримані залежності проаналізовано на побудованих графіках. Показано, що під дією моментів опору коченню координат граничне навантаження зміщується до осі передніх коліс, при цьому відбувається їх розвантаження.

Розглянуті не тільки навантаження, що виникають при агрегатуванні не тільки в статичному але і в динамічному стані МТА. Здійснено оцінку вантажопідйомності МТА на підставі аналізу відповідної динамічної складової.

Перерозподіл навантаження на задні ведучі колеса ТСШ в межах вантажопідйомності шин в нормальних умовах забезпечує підвищення тягового коефіцієнта корисної дії. При розгляді переміщення навісної машини в розрахунковій зоні (відстані навішування між передніми та задніми колесами ТСШ) як способу перерозподілу навантажень на задні ведучі колеса, то оптимальніше з точки зору покращення тягових зусиль ТСШ її розміщення на межі зони з боку ведучих коліс.

Положення навісної машини на ТСШ, яке задовольняє як принципам раціональної вантажопідйомності, так і найкращих його тягово - зчіпних показників вирішується задачею оптимізації агрегату.



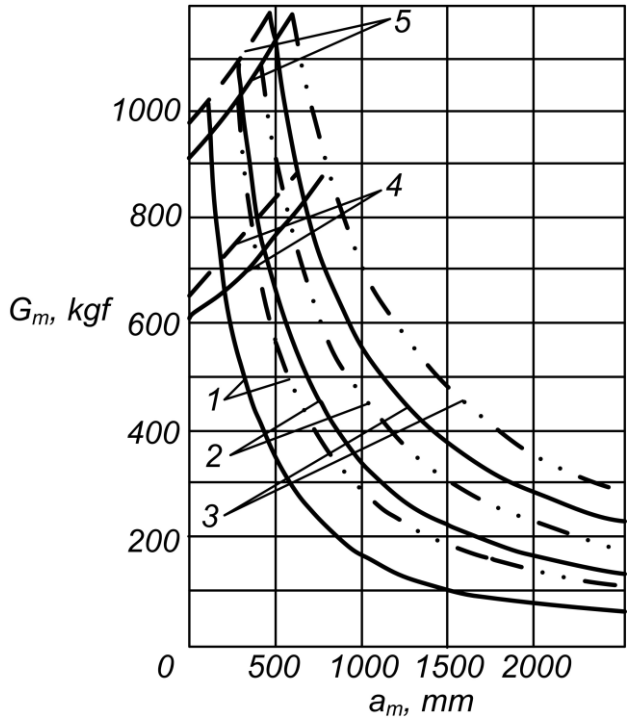
——— - вантажопідйомність ТСШ на м'якому ґрунті при тиску в шинах задніх коліс 0,09; 0,11; и 0,1 мПа (відповідно криві 1, 2 и 3) і передніх коліс – 0,21 мПа

—.—.— - те ж, але з використанням запасу вантажопідйомності шин передніх коліс

— — — - вантажопідйомність ТСШ на транспортних роботах (тиск в шинах задніх коліс 0,13 мПа; направляючих коліс – 0,32 мПа)

Рисунок 1 – Характеристика потенційної вантажопідйомності ТСШ Т-16МГ

На рис.1 показані залежності значень граничної ваги агрегатуємої машини від величини горизонтальної координати її центру ваги.



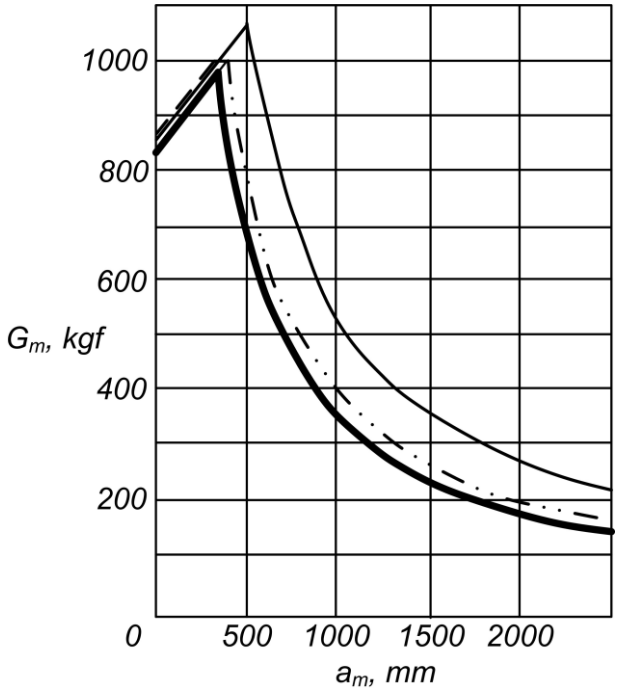
——— - загальні огинаючі для аналізованого випадку

—..—..— - криві, збудовані за умови статичної дії сил; 1, 2 і 3 - для вантажопідйомності шин задніх коліс на м'якому ґрунті при тиску відповідно 0,09: 0,1 та 0,11 мПа

4 і 5 - для номінальної та максимальної вантажопідйомності шин передніх коліс при тиску 0.21 мПа; $G_П$ = 260 кгс; $G_З$ = 1400 кгс; f = 0,12

Рисунок 2 – Характеристика вантажопідйомності ТСШ Т-16МГ на транспортних роботах (для статичних та динамічних умов)

На рис. 2 наведені залежності значень граничної ваги агрегатуємої машини від величини горизонтальної координати її центру ваги. Область допускаємої вантажопідйомності ТСШ на графіку отримується в результаті накладання одна на одну кривих статистичного і динамічного навантаження.



——— - загальна огинаюча для розглянутого випадку

—..—..— - крива, побудована за умови статичної дії сил

— — — - те ж в русі

——— - крива статичної вантажопідйомності ТСШ (без жорсткого запобіжного каркасу)

Рисунок 3 – Залежність значень граничної ваги, агрегатованої машини від величини горизонтальної координати її центру ваги (для статичних та динамічних умов)

Графік на рис. 3 дозволяє проаналізувати відповідність навісної платформи розрахунковій вантажопідйомності ТСШ.

Криві графіків побудовані для умов роботи ТСШ на злежалій оранці, що практично охоплює весь комплекс робот, які ТСШ виконує з машинами та знаряддями в аграрному, лісному, дорожньому і комунальному господарствах. В цих умовах динамічний перерозподіл навантажень суттєво обмежує корисну вантажопідйомність переднього моста ТСШ. Для транспортного МТА на базі ТСШ (рис. 3) робоча вантажопідйомність близька до статичної, це визвано відносним зменшенням моментів опору коченню за рахунок перекочування коліс по ущільненому грунту. В цьому випадку можливо оцінювати граничну вагу транспортного МТА на підставі статичної вантажопідйомності ТСШ.

Аналіз накладення цих зон одну на другу показав ,що оптимальна зона навіски є при повному їх співпадінню. При цьому необхідно уточнювати повздовжню стійкість МТА та граничні значення розрахункових координат, які обмежуються розмірами бази ТСШ. Ефективність використання навісної машини буде тим вище, чим більше її вага і величина переміщення зони навіски в межах ,які допускаються конструктивними та агротехнічними особливостями агрегату [3].

Зміною колії ТСШ можливо впливати на положення машини у випадку, коли її переміщення лімітується стійкістю МТА. В поєднанні із зміною висоти центру ваги навісної машини визначення її оптимального положення є завданням варіаційного розрахунку.

ТСШ використовує понад 200 навісних і причіпних машин і знарядь [4]. При агрегатуванні більшості з них стандартні шини і диски задовольняють розрахункову вантажопідйомність ТСШ. Але при роботі з навісним бульдозерним відвалом, грейдером, фронтальним навантажувачем, грейфером, підвісним катком та іншими важкими агрегатами суттєво зростає навантаження на шини передніх коліс, проходить перерозподіл навантажень на передню вісь і збільшення відповідних реакцій. Тому рекомендовано при їх агрегатуванні встановлювати на передні колеса розширені диски і шини.

При виконанні робочих операцій на перезволожених ґрунтах і полях, наприклад меліорації, покосу лугів та інше, доцільно встановлювати здвоєні задні колеса для усунення пробуксовування і зменшення ущільнення ґрунту. При встановлені на ТСШ замість вантажної платформи (заміни її на вкорочену) мобільної кранової установки (крюкової мультиліфтної системи) для забезпечення стійкості МТА і підвищення його вантажопідйомності встановлюються аутригери по бокам передньої осі.

Список використаних джерел

1. Podrigalo M., Krasnokutskyi V., Selevych S., Vakhniuk S., Dolinskyi M. (2025). Methodology for Analyzing the Traction Dynamics of a Self-Propelled Tractor Chassis During Coupling with Cross-Axle Linkage of Mounted Machines, Innovations in Mechanical Engineering IV, 129-139, https://doi.org/10.1007/978-3-031-93554-1_12

2. Podrigalo M., Krasnokutsky V., Selevich S., Zakapko O. (2021). Improvement of aggregation techniques of universal self-propelled chassis by using folding frames, 20th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, 20, 457-463, https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF096

3. Подригало М., Краснокутский В. Вплив причіпних ланок на керованість тракторних самохідних шасі. Вісник машинобудування та транспорту, 2024. №1 (19). С. 109–114.

4. Подригало М., Краснокутский В. Склад комплексу машин до тракторного самохідного шасі. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт в аграрному секторі». Державний біотехнічний університет, м. Харків, 10.12.2021. с. 252-254

Краснокутський Володимир Миколайович – к.т.н., доцент, професор кафедри автомобіле і тракторобудування Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, e-mail: hvukvn@gmail.com.

Подригало Михайло Абович – д.т.н, професор, завідувач кафедри технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, e-mail: pmikhab@gmail.com

Кав'юк Вадим Володимирович – завідувач кафедри аеродромно-технічного забезпечення авіації Харківського Національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: super-kvv1971@ukr.net.

Krasnokutskyi Volodymyr – PhD (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Car and Tractor Industry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, e-mail: hvukvn@gmail.com

Podrigalo Mykhail – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technology of Machinery Manufacturing and Machine Maintenance, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: pmikhab@gmail.com

Kaviuk Vadym – Head of the Department of Airfield Technical Support for Aviation, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: super-kvv1971@ukr.net

УДК 656.078

О.М. Красноштан, Ф. Буреш

ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА БЕЗПЕКИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ НА ШЛЯХУ ЙОГО ІНТЕГРАЦІЇ У ЗАЛІЗНИЧНИЙ ПРОСТІР ЄС

Розглянуто процес адаптації законодавчої та нормтивної бази України в галузі залізничного транспорту до вимог зобов'язань, взятих на себе Україною в рамках інтеграції до Європейського Союзу. Запропоновано принципову модель формування та розвитку нормативної бази з питань безпеки руху.

Ключові слова: *залізничний транспорт, безпека руху, нормативно-правове регулювання, Європейська інтеграція.*

The process of adapting the legislative and regulatory framework of Ukraine in the field of railway transport to the requirements of the obligations undertaken by Ukraine within the framework of integration into the European Union is considered. A principled model of the formation and development of the regulatory framework on traffic safety is proposed.

Keywords: *railway transport, traffic safety, regulatory framework, European integration.*

Залізничний транспорт завжди був ключовим для економіки та населення України. З початком повномасштабної війни він став порятунком для мільйонів українців, підтримкою бізнесу та зміцненням обороноздатності країни. Сталий розвиток залізниці є національним пріоритетом і має стратегічне значення. Євроінтеграція та розвиток зовнішньоекономічних зв'язків висувають нові вимоги до галузі. Сьогодні в суспільстві і в бізнесі є прямий запит щодо нової залізниці: з можливістю відкриття ринку перевезень для бізнесу та якісними послугами для пасажирів. Справедлива конкуренція між усіма учасниками ринку, з прозорими тарифами на доступ до інфраструктури, економічна ефективність залізничних перевезень, максимальне використання наявної інфраструктури, – все це прямі вимоги директив ЄС, які Україна має імплементувати та реалізувати.

Реформа залізничного транспорту є пріоритетом для України в рамках євроінтеграційного курсу та необхідною умовою для зміцнення економічного потенціалу країни. Гармонізація українського законодавства відповідно до Директиви 2012/34/ЄС є ключовою умовою інтеграції України в європейський транспортний простір. Директива встановлює правила для створення єдиного європейського залізничного простору. Її мета — зробити залізничний транспорт у країнах ЄС більш відкритим, конкурентним і ефективним. Інакше кажучи, Директива створює «єдині правила гри» для залізничних компаній у Європі.

Інтеграція системи залізничного транспорту України до єдиного залізничного простору Європейського Союзу передбачає комплексну і всеосяжну імплементацію трьох основних директив, що охоплюють наступні важливі питання:

- Процес сертифікації машиністів,
- Безпеки руху на залізничному транспорті
- Інтероперабельності.

Іншим важливим напрямком євроінтеграційного процесу у сфері залізничного транспорту є імплементація в українське законодавство основних положень Директиви (ЄС) 2016/797 про інтероперабельність залізничної системи в рамках Європейського Союзу та Директиви (ЄС) 2016/798 з безпеки на залізничному транспорті. Цей процес, зокрема, охоплює впровадження системи безпеки руху за європейськими зразками, створення механізмів технічного розслідування залізничних аварій, а також встановлення правових основ технічного регулювання забезпечення інтероперабельності (здатності залізничного транспорту підтримувати безпечний рух).

Перша і основна вимога - це надання суб'єктам господарювання всіх публічних послуг за принципом єдиного вікна. Усі процедури йтимуть через центральний орган виконавчої влади, який здійснюватиме реалізацію державної політики в сфері залізничного транспорту. Окремий

регулятор у залізничній галузі - це нормальна практика для всіх країн ЄС, і такий орган повинен бути створений в Україні.

Важливим аспектом є питання ліцензування. Ліцензія в концепції законопроекту і європейського законодавства - це документ, який підтверджує економічну спроможність, добру репутацію заявника, його фінансову здатність покриття можливих збитків.

Однією з вимог є створення національного орган безпеки на транспорті. Він видаватиме всі дозвільні документи, надаватиме адміністративні послуги, здійснюватиме нагляд за безпекою в порядку, передбаченому законом тощо.

Окрім того, необхідним є створення Національного бюро з розслідувань аварійних подій на транспорті, що діятиме на всіх видах транспорту і діятиме незалежно від міністерства та від всіх інших регуляторів.

Що стосується публічних послуг, то орган із нацбезпеки взаємодіятиме з усіма можливими стейкхолдерами. Він надаватиме перевізникам ліцензії та сертифікати безпеки, надаватиме сертифікати авторизації операторами інфраструктури та різних колій, рухомий склад яких виходять на магістралі. Він організовуватиме іспити для машиністів і видаватиме їм свідоцтва, які діятимуть на всій території України упродовж 10 років. З'явиться процедура визнання навчальних центрів, які будуть мати право готувати машиністів. Підприємства з ремонту та обслуговування рухомого складу отримуватимуть свідоцтва про призначення суб'єкта відповідального за технічне обслуговування - аналог сертифікації ЄС.

Список використаних джерел

1. Вступ України до ЄС: розпочато прескринінг законодавства у сфері залізничного транспорту: Дата оновлення: 31.10.2025. URL: https://mtu.gov.ua/news/36155.html (дата звернення 12.10.2025).

2. Марценюк Л.В., Міщенко М.І., Чернова Н.С. Визначення доцільності залучення інвестицій на концесійній основі на залізничному транспорті в Україні. «Ефективна економіка», № 9 202

Красноштан Олександр Михайлович **–** д.т.н., доцент, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: olexander.krasnoshtan@gmail.com

Буреш Франтішек **–** магістр, аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bures.ktz@gmail.com

Krasnoshtan Olexander M. **–** Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olexander.krasnoshtan@gmail.com

Bures Frantisek **–** Master, PhD student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bures.ktz@gmail.com

УДК 621.431

В.І. Кубіч, О.Г. Чернета

ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОДАТЧИКОВОГО МОДУЛЯ STEVAL-MKI062V1 ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ВІБРАЦІЙ СИСТЕМИ «ДВИГУН – КУЗОВ АВТОМОБІЛЯ»

Розглянуто можливість використання багатодатчикового модуля STEVAL-MKI062V1 та програмного забезпечення INEMO Software Tool для зняття амплітудно-частотної характеристики вібрацій, які передаються від двигуна на кузов легкового автомобіля. Зазначено, що пропоноване діагностичне обладнання має сенс для використання поряд, наприклад, із портативним комплексом PicoDiagnostics NVH та іншими пристроями.

Ключові слова: *амплітуда, осцилограма вібрацій, частота, амплітудно-частотна характеристика*

The possibility of using the Steval-mki062v1 multi-sensor module and the Inemo Software Tool software to measure the amplitude-frequency characteristics of vibrations transmitted from the engine to the body of a passenger car is considered. It is noted that the proposed diagnostic equipment makes sense for use together, for example, with the PicoDiagnostics NVH portable complex and other devices.

Keywords: *amplitude, vibration waveform, frequency, amplitude-frequency response*

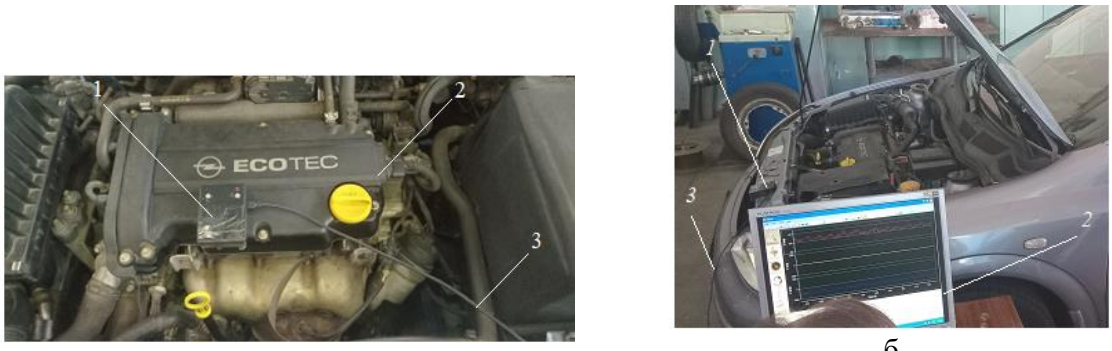
Складові технічної експлуатації автомобілів різного призначення передбачають здійснення заходів їх технічного обслуговування, що передбачає використання широкого кола обладнання, приладів, інструмента для оцінки діагностичних параметрів і їх відповідності нормативним значенням. Так, одними із діагностичних симптомів технічного стану відповідної системи, агрегату, механізму та їх поєднань у автомобілі є прояви зайвих шумів та вібрацій які у тої, чи іншій мірі супроводжують його використання за призначенням.

У відповідності до ДСТУ 2300-93 вібрація це рух матеріальної точки або механічної системи, при якому по черзі зростають і спадають за часом значення величини, що характеризує цей рух. Такою механічною системою в автомобілі поряд з іншими є система «двигун – кузов», в якій джерелом вібрацій виступає двигун. У цілому, вібрації є складними механічними коливаннями з багатьма складовими на різних частотах. Окремі складові складних механічних коливань можна відокремити шляхом дослідження залежностей їх амплітуд від частоти. Для кількісної оцінки величин механічних коливань використовують розмах сигналу, пікове значення, середнє чи середньоквадратичне значення вібраційного сигналу. Амплітуда вібропереміщення, віброшвидкість та віброприскорення коливань синусоїдальної форми взаємопов'язані математичними функціями частоти та часу [1].

Для визначення вібраційного сигналу використовуються як стаціонарні (AVL NVH Testbed Systems), так і портативні (Rotunda Tools MTS 4100, PicoDiagnostics NVH та ін.) пристрої. Так, наприклад, зручним та функціональним є діагностичний комплекс PicoDiagnostics NVH, що широко застосовується для виявлення дефектів двигунів шляхом аналізу віброакустичних показників. Діагностичний комплекс включає датчики вібрацій, датчики шуму, комунікаційні модулі та програмне забезпечення. При цьому частота, амплітуда та напрямок просторових коливань двигуна зчитується акселерометром у 3-х площинах. Крім того, прилад отримує інформацію про робочі показники двигуна (наприклад, частота обертання колінчастого валу) зі штатних датчиків бортової системи діагностики автомобіля (OBD2) [2]. Зазначений комплекс є досить вартісним і складним при використанні. Також для проведення вібродіагностики автомобіля пропонується моніторингова система з безпровідною передачею даних. В якості пристрою, що сприйматиме вібрації та перетворюватиме їх в цифровий сигнал, є тривісний акселерометр ADXL345. Для керування та обробки сигналу від акселерометра використовується Arduino Nano, а для передачі даних – трансивери NRF24L01. Всі дані передаються на сервер, який може приймати інформацію одночасно від декількох датчиків. Зв'язок між датчиками та сервером здійснюється по радіоканалу у цифровому вигляді [3]. Наведене обладнання є специфічним за передачею та обробкою сигналу і потребує відповідних умов проведення вимірювань.

Для оцінки характеру передачі вібрацій від двигуна на кузов автомобіля пропонується до використання більш спрощений комплект діагностичного обладнання з USB зв'язком багатодатчикового модуля STEVAL-MKI062V1 з програмним забезпеченням INEMO Software

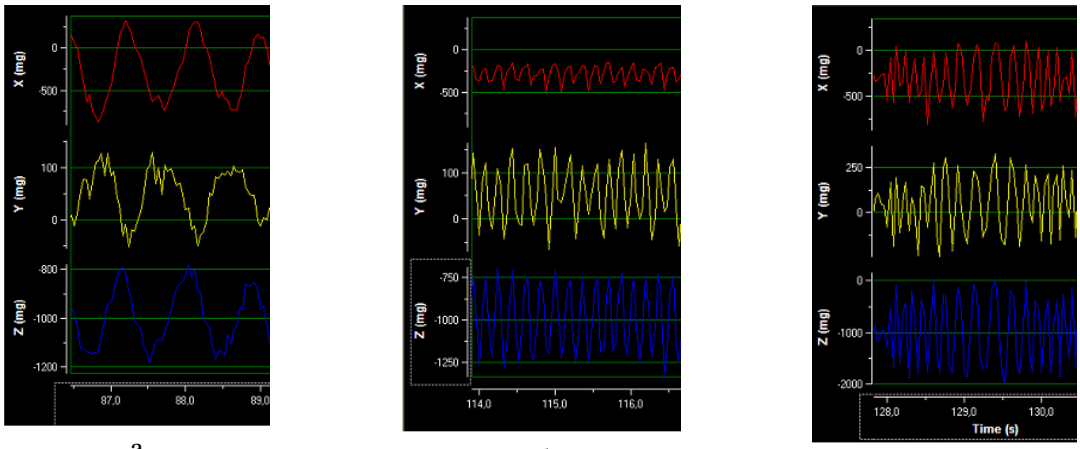
Tool звичайного комп'ютера. Багатодатчиковий модуль Steval-mki062v1 складається з датчиків атмосферного тиску, температури навколишнього середовища, трьохосьового магнітометра, акселерометра та гіроскопа. Обчислювальним центром модулю є 32-разрядний мікроконтролер STM32F103 на базі ядра ARM – Cortex – M3. Акселерометр і гіроскоп багатодатчикового модулю побудовані з застосуванням мікроелектромеханічних систем (МЕМС). Принцип роботи заснований на перетворенні в електричний сигнал диференціальної ємності, яка утворена рухомими та нерухомими кремнієвими мікромеханічними пластинами гребінчастої форми. Зміна ємності під дією лінійного прискорення (в акселерометрах) або сили Коріоліса (в гіроскопах) дозволяє оцінити амплітудні значення зазначених впливів. Зазначене дає можливість отримувати амплітудно-частотну характеристику прискорень механічної системи, наприклад, «двигун автомобіля», «двигун – кузов автомобіля», та здійснювати їх порівняння, рисунок 1 [4, 5]. Останнє дозволяє оцінювати величину поглинання вібрацій гумовими елементами опор силового агрегату.



а б

Рисунок 1 – Розміщення багатодатчикового модуля Steval-mki062v1 при діагностиці вібрацій системи «двигун Z14XEP – кузов автомобіля Opel Astra G»: а – двигун: 1 – багатодатчиковий модуль; 2 – кришка головки блоку циліндрів ; 3 – провід USB; б – моторний відсік: 1 – багатодатчиковий модуль; 2 – монітор; 3 – провід USB

За методикою проведення вимірювань достатньо закріпити модуль за допомогою звичайної двосторонньої клейкої стрічки на відповідній поверхні механічної системи, яка діагностується, задати умови та режими її роботи. При цьому, за обробкою отриманих осцилограм вібрацій (рисунок 2) представляється можливим отримати численні значення амплітуди і частоти та оцінити їх за поставленими завданнями.



а б в

Рисунок 2 – Осцилограми вібрацій, знятих з двигуна Z14XEP при частоті обертання колінчастого валу:
а – n=780 хв$^{-1}$; б – n=1100 хв$^{-1}$; в – n=3000 хв$^{-1}$

Так, за результатами експериментальних досліджень механічної системи, яка наведена на рисунку 3, в роботі [4] отримана картина прояву амплітудно-частотної характеристики вібрацій

справного двигуна Z14XEP при його роботі на частоті холостого ходу, що може розглядатися як вихідні дані для оцінки технічного стану при наступному діагностуванні із зазначеними приладами. При цьому визначено протилежність змін у значеннях амплітуди та частоти механічних коливань двигуна на його опорах: збільшення амплітуди і зменшення частоти за умовою початку руху гідравлічної рідини через силовий циліндр гідропідсилювача. Встановлено, що якісний стан гідравлічної рідини системи гідропідсилювача рульового керування суттєво впливає на зміну механічних коливань двигуна, які виникають за наслідками особливостей роботи алгоритму керування двигуном на обертах холостого ходу, тільки при відхилені рульового колеса від нейтрального положення. В роботі [5] для цієї же системи визначені амплітуди та частоти коливань, які проявляються на кузові автомобіля через опори силового агрегату виробників Swag (автомобіль за 2 роки 2 місяця напрацював 4000 км і вібрації на кузов мали суттєвий акустично-тактильний прояв) та Sasic (нова). При цьому визначено наступне. По-перше, частоти коливань майже однакові для обох опор і значення відхилень мають незначний розкид. З цього випливає, що гумовий елемент опор вібрації за частотою коливань не поглинає. По-друге, при встановленні нової опори зменшується як амплітуда коливань, майже в 1,4 ризи, так і значення відхилень від їх середньостатистичних значень.

Практичне використання запропонованого багатодатчикового модуля як досить спрощеного діагностичного обладнання підтверджує доцільність його використання при визначенні технічного стану механічних систем за віброметричним діагностичним симптомом.

Список використаних джерел

1. Діагностування механізмів на основі аналізу вібраційних сигналів / Р. Юзефович, О. Личак, І. Яворський, І. Стецько, І. Стецько // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій», 10-11 листопада 2022 року. – Т. : ФОП Паляниця В.А., 2022. С. 222–223. (Діагностика пошкоджуваності матеріалів і конструкцій).

2. Корпач А.О., Левківський О.О. Сучасні методи дослідження шумів, вібрацій та жорсткості роботи автомобільних двигунів. Тези XIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (присвячена сторіччю Державного університету «Житомирська політехніка») 26-28 жовтня 2020 року. – Житомир : Житомирська політехніка, 2020. С. 40.

3. Павлова Н.М., Губський С.О., Сергієнко М. Є. Діагностика стану автомобіля за допомогою вібрації. XVII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених», 28-30 листопада 2023 року Online. Україна, НТУ «ХПІ», 2023.

4. Кубіч В.І., Чернета О.Г., Канський А.В. Особливості прояву вібрацій двигуна Z14XEP на холостих обертах при навантаженні системою гідропідсилювача рульового керування. Проблеми тертя та зношування. №3(104), 2024. К. : НАУ. С. 35–45.

5. Кубіч В.І., Чернета О.Г., Канський А.В. Вплив показників пружності гумового елемента опори двигуна на передачу вібрацій на кузов автомобіля. Вісник Хмельницького університету. Технічні науки. №5(341), 2024. К. : ХНУ. С.182–187.

Кубіч Вадим Іванович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Автомобілі, теплові двигуни та гібридні енергетичні установки», Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, e-mail: schmirung@gmail.com

Чернета Олег Георгійович - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Автомобілі та транспортно-логістичні системи», Дніпровський державний технічній університет, м. Каменське, e-mail: OCherneta@gmail.com

Kubich Vadim I. – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles, Heat Engines and Hybrid Power Plants National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia, e-mail: schmirung@gmail.com

Cherneta Oleg G. – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of automobiles and automotive industry Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Kamenske, e-mail: OCherneta@gmail.com

УДК 656.13.078

В.П. Кужель, О.С. Глодний, Д.О. Гусєв

ПОКРАЩЕННЯ КОНКУРЕНТНОГО СЕРЕДОВИЩА ПІДПРИЄМСТВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА РИНКУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

В роботі розглянуто шляхи використання стратегії покращення конкурентного середовища, а саме запропоновано ідею механізму інтеграції конкурентної та маркетингової стратегій. Запропоновано використання показника стійкості функціонування підприємств автомобільного транспорту, який враховує показники як рентабельності надання послуги так і фондовіддачі, показник виробничих можливостей підприємства при обслуговуванні певного цільового сегменту ринку перевезень.

Ключові слова: *транспорт, стратегія, конкуренція, підприємство, послуга.*

The paper considers ways of using the proposed strategy to improve the competitive environment namely, a diagram of the mechanism for integrating competitive and marketing strategies is provided. A new indicator is proposed to assess the sustainability of road transport enterprises. This indicator considers both the profitability of the services provided and the return on capital, as well as the production capabilities of the enterprise when serving a specific target segment.

Keywords: *transport, strategy, competition, enterprise, service.*

Сучасний етап розвитку ринкових відносин в Україні, військові дії, обмеження у використанні різних видів транспорту зумовлюють важливість здобуття саме підприємствами автотранспортного комплексу стійкої позиції на ринку та чіткого визначення власного місця серед конкурентів [1].

Транспортна система, як відомо, є ключовим елементом виробничої інфраструктури, що забезпечує збалансований розвиток і стабільне функціонування національної економіки. Автомобільний транспорт бере участь у всіх сферах господарської діяльності, характеризується високою мобільністю та оперативністю при здійсненні перевезень на короткі відстані [2-4]. Він є єдиним видом транспорту, здатним забезпечити доставку пасажирів і вантажів за принципом «від дверей до дверей» та функціонувати автономно, без прив'язки до інших видів транспорту чи транспортних систем.

Зрозуміло, що для підвищення рівня економічної ефективності кожне транспортне підприємство має вдосконалювати власну конкурентну позицію на ринку. Основним інструментом досягнення цієї мети доцільно визначити маркетинг, який забезпечує цілеспрямоване формування попиту та оптимізацію взаємодії із споживачами.

Конкурентоспроможність підприємства розглядається спершу як результат ефективного формування та використання його ресурсного потенціалу, що виявляється у створенні та реалізації конкурентних переваг. Вона відображає стан інвестиційного, маркетингового, логістичного, інноваційного та соціального розвитку підприємства, а також обґрунтовує необхідність постійного удосконалення його стратегічних орієнтирів. Рівень конкурентоспроможності безпосередньо залежить від методів і технологій формування конкурентних переваг, особливо у сфері управління виробничими процесами та реалізацією продукції [1-2].

На рисунку 1 представлено узагальнену схему процесу формування конкурентної стратегії. Даний процес включає етапи ідентифікації та послідовного аналізу всіх факторів зовнішнього і внутрішнього середовища функціонування підприємства. Будується інтегрована маркетингова стратегія сам за результатами цього аналізу, здійснюється оцінка чинних маркетингових і конкурентних стратегій, з яких відбираються найбільш релевантні елементи для формування пріоритетної стратегії. Вже вона поєднує риси маркетингової та конкурентної стратегій і визначається як інтегрована маркетингова стратегія.

Реалізація ж інтегрованої маркетингової стратегії сприяє зміцненню ринкових позицій підприємства та підвищенню його стійкості у конкурентному середовищі. Основними складовими цієї стратегії є: визначення цільового ринку та його сегментів, ідентифікація цільових груп споживачів, розроблення системи позиціонування та формування маркетингового комплексу.



Рисунок 1 – Варіанти вибору конкурентної стратегії

Запропоновані фактори, що впливають на конкурентоспроможність підприємства автомобільного транспорту наведені на рисунку 2.

Відмітимо також, що конкуренція в залежності від масштабу поділяється на місцеву, регіональну, національну, міжнаціональну та глобальну, а за характером цінової конкуренції поділяється на пряму та приховану. При прямій конкуренції підприємство інформує про зниження цін на товари, які випускаються та доступні на ринку. При прихованій – на ринок виводиться новий товар з покращеними властивостями, на який ціна підвищується незначно.

Обґрунтовано, що економічна ефективність та сильна конкурентна позиція на ринку є головною метою стратегічної діяльності підприємства. При розрахунку частки ринку автотранспортного підприємства важливу роль відіграє коефіцієнт конкурентоспроможності автотранспортного підприємства.

Отже в якості висновків відмітимо, що в подальшому удосконалення потребує звісно саме методика розрахунку конкурентної позиції підприємства, що враховує максимально всі специфічні фактори, притаманні діяльності підприємств галузі автомобільних перевезень.

Список використаних джерел

1. Бажан Л. І. Алгоритм вибору стратегії сталим розвитком транспортно-логістичної системи / Бажан Л. І., Яблоков І. В. // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем. – 2014. №19. С. 291–293.

2. Управління конкурентоспроможністю підприємства: навч. посіб. / С. М. Клименко та ін. Київ. КНЕУ, 2016. – 527 с.

3. Кужель В.П. Фактори впливу на оцінку якості послуг з перевезень автомобільним транспортом / Кужель В.П., Щерба В.О., Михальчук О.В // Наукові праці міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні», 15-18 жовтня 2019 р., Харків: ХНАДУ – С. 102 - 105.

4. Кужель В.П. Можливості розвитку транспортної системи України впровадженням систем контрейлерних перевезень / Кужель В.П., Костенюк В.О. // Матеріали XI-ої міжнародної науково-технічної інтернет - конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного

транспорту», 13-14 квітня 2023 року: збірник наукових праць. Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 206 – 210.

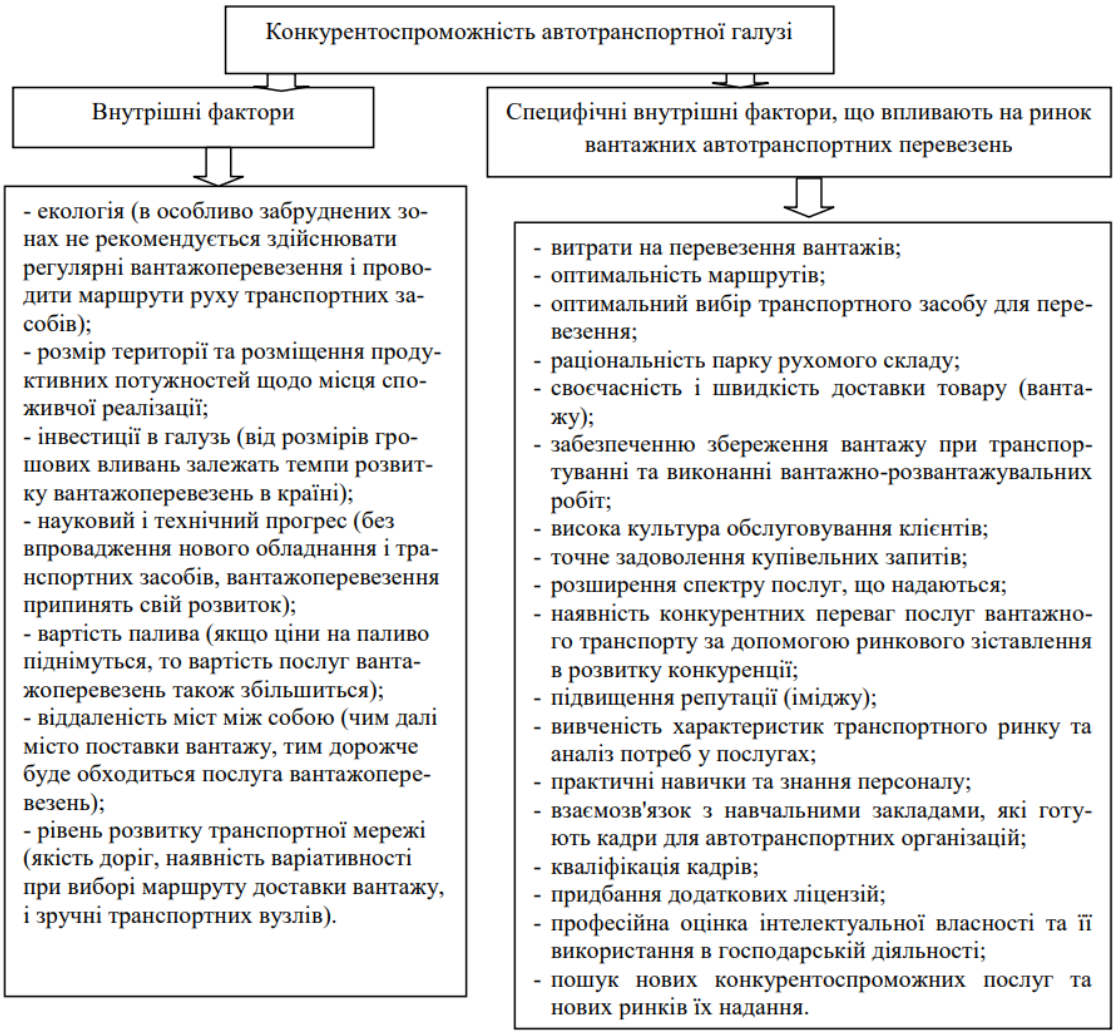


Рисунок 2 – Фактори, що впливають на конкурентоспроможність підприємства автомобільного транспорту

Кужель Володимир Петрович – к.т.н., доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Глодний Олександр Степанович - студент групи 1ТТ-24м, факультет машинобудування та транспорту, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Гусєв Дмитро Олександрович - студент групи 1ТТ-24м, факультет машинобудування та транспорту, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Kuzhel Volodymyr P.– Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Glodnyy Oleksandr S.- student of group 1TT-24m, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University

Gusev Dmitro O. – student of group 1TT-24m, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University

УДК 629.113.004.67: 656.13

В.П. Кужель, В.В. Слободян, Р.Д. Шонік

ВИДИ ПРИСАДОК ТА ВАРІАНТИ МОДИФІКАЦІЇ СКЛАДУ АВТОМОБІЛЬНОГО ПАЛИВА

Робота присвячена питанням поліпшення якості автомобільних палив і експлуатаційних властивостей автомобілів за рахунок застосування різних добавок і присадок до бензинів тобто при модифікації автомобільного палива. Визначена класифікація присадок за головним призначенням (властивістю): в'язкісні, які покращують індекс в'язкості (модифікатори індексу в'язкості, депресанти); присадки, які покращують мастильні властивості (модифікатори тертя, антифрикційні, фрикційні, протизносні, протизадирні); антиокислювальні; антикорозійні (інгібітори корозії); миючі (детергенти) та антипінні присадки.

Ключові слова: *паливо автомобільне, модифікація, присадка, класифікація, властивість.*

The work is devoted to the issues of improving the quality of automotive fuels and the operational properties of cars through the use of various additives and additives to gasoline, that is, when modifying automotive fuel. The classification of additives by main purpose (property) is determined: viscous, which improve the viscosity index (viscosity index modifiers, depressants); additives that improve lubricating properties (friction modifiers, antifriction, friction, antiwear, extreme pressure); antioxidants; anticorrosive (corrosion inhibitors); detergents (detergents) and antifoam additives.

Keywords: *automotive fuel, modification, additive, classification, property.*

Введення присадок та різноманітних добавок для модифікації складу паливо-мастильних матеріалів дозволяє покращити їх якість за рахунок підвищення в’язкіснотемпературних, антифрикційних, протизносних та термоокислювальних властивостей.

Зазначимо, що присадки до автомобільних палив - це спеціальні хімічні речовини, які додають/вводять у бензин або дизельне паливо з метою покращення експлуатаційних, екологічних і технічних характеристик пального [1-2]. Їх частка зазвичай незначна і становить від 0,001 до 0,5 % маси палива, але навіть у таких кількостях вони істотно впливають на роботу двигуна. Для олив присадками називають також хімічні речовини, що вводяться до складу базових олив з метою покращення їх природних властивостей або надання нових експлуатаційних характеристик [3].

Наведемо класифікацію присадок до автомобільних палив:

1. Антидетонаційні присадки - підвищують октанове число бензину, запобігають детонації в двигуні (приклади: сполуки марганцю (МЦПМ)); кисневмісні компоненти (етанол, метанол, метил-трет-бутиловий ефір (МТБЕ), ЕТБЕ).

2. Цетанопідвищувальні присадки (для дизельного палива) - підвищують цетанове число, полегшують самозаймання палива, покращують пускові властивості (приклади: нітрат 2-етилгексилу, пероксиди, органічні нітрати).

3. Миючо-диспергувальні присадки - очищують паливну систему (форсунки, клапани, камеру згоряння) від нагару та смол, перешкоджають утворенню відкладень і забезпечують стабільність суміші «паливо–повітря» (приклади: поліетераміни (РЕА), поліізобутиленаміни (РІВА)).

4. Антикорозійні присадки - створюють на поверхні металу захисну плівку, яка запобігає дії води, сірчистих та органічних кислот (використовуються у всіх типах палив, особливо у дизельних; приклади: аміносполуки, інгібітори корозії на основі жирних кислот).

5. Антиокислювальні (стабілізуючі) присадки - сповільнюють окислення палива під час зберігання, запобігають утворенню смол, осаду та кольорових змін (приклади: фенольні антиоксиданти, ароматичні аміни).

6. Антистатичні присадки - зменшують накопичення електростатичних зарядів у паливі під час перекачування або заправки, що знижує ризик займання (приклади: поверхнево-активні речовини (ПАР) катіонного типу).

7. Антипінні присадки - зменшують утворення піни під час заправки та транспортування, що полегшує налив і вимірювання об’єму палива (приклади: силіконові або поліметакрилатні сполуки).

8. Депресорні присадки (для дизельного палива) - покращують низькотемпературні властивості - знижують температуру застигання і фільтрації (приклади: поліметакрилати, естери жирних кислот).

9. Біоцидні присадки - знищують бактерії та грибки, які розмножуються у паливі при наявності вологи (застосовуються переважно у дизельному паливі для запобігання так званого «цвітіння» палива).

10. Барвники та маркери - ідентифікують вид палива (комерційне, службове, технічне і інші), допомагають відслідковувати підробки.

В результаті метанол, етанол і МТБЕ (метил-трет-бутиловий ефір) проявляють найбільшу антидетонаційну ефективність при додаванні до палив з досить чітко вираженим двостадійним запалюванням (тобто до палив на основі парафінових та нафтенових вуглеводнів) (рис. 1).

Також слід очікувати суттєвого покращення антидетонаційних властивостей саме низькооктанових бензинів при додаванні спиртів і МТБЕ.

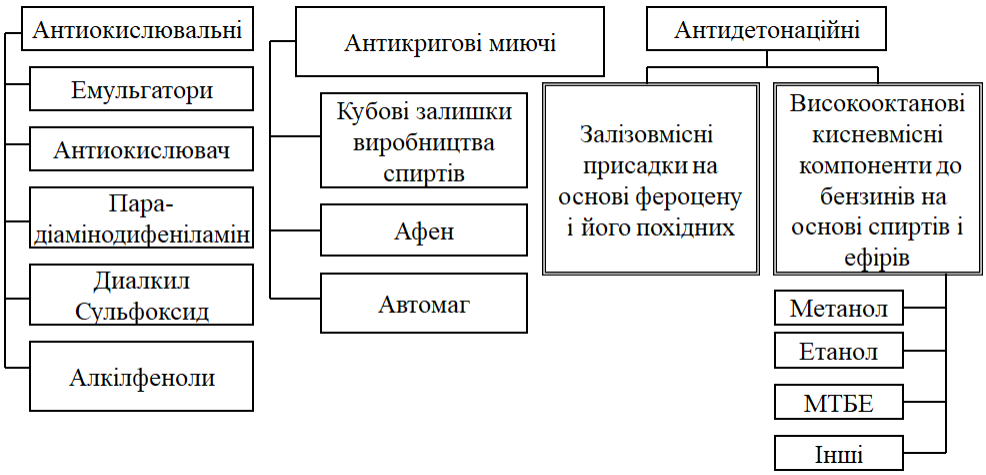


Рисунок 1 – Класифікація присадок до бензинових палив

Розглянемо детальніше призначення присадок до автомобільних олив. Ефективність присадок забезпечується лише за умови правильного вибору їх типу, кількості та оптимального поєднання з базовою оливою.

Основною метою додавання присадок є:

- запобігання заїданню деталей тертя;
-зменшення зношування та сил тертя;
- підвищення змащувальної здатності мастильних матеріалів.

Вибір оливи з присадками повинен здійснюватися на підставі аналізу умов тертя, температурного режиму роботи вузлів та характеру можливих пошкоджень поверхонь. Невиправданий або випадковий вибір присадок може призвести до підвищеного зношування, погіршення фізико-хімічних властивостей або втрати стабільності мастильного матеріалу.

Дія присадок зумовлюється їх хімічними властивостями, концентрацією в мастильному матеріалі та сумісністю з базовою оливою. Деякі присадки можуть проявляти більшу хімічну активність, ніж сама основа оливи, що повинно враховуватися при використанні.

Додавання присадок забезпечує наступні позитивні результати/властивості:

1) надання нових властивостей: утворення на поверхнях деталей захисних хемосорбційних сульфідних або фосфідних плівок, що зменшують зношування;

2) покращення існуючих властивостей: зменшення в'язкісно-температурної залежності, зниження температури застигання оливи;

3) пригнічення небажаних процесів: уповільнення окислення, утворення шламів, запобігання корозії металевих поверхонь;

Присадки, що застосовуються у складі мастильних матеріалів, повинні:

- забезпечувати необхідні або покращені характеристики оливи;
- мати високу розчинність у базовій оливі;
- характеризуватися низькою летючістю та стабільністю в широкому діапазоні температур;

- бути стійкими до дії води (не вимиватися, не піддаватися гідролізу);
- не вступати у хімічну взаємодію з матеріалами деталей;
- бути сумісними з іншими присадками і не знижувати їх ефективність.

Класифікація присадок до автомобільних олив за функціональним призначенням:

В'язкісні присадки - покращують індекс в'язкості та температурну стабільність олив (модифікатори індексу в'язкості, депресанти).

Присадки, що покращують мастильні властивості - знижують тертя і зношування поверхонь (модифікатори тертя, антифрикційні, протизносні, протизадирні добавки).

Антиокислювальні присадки - сповільнюють процеси окислення оливи при експлуатації.

Антикорозійні присадки (інгібітори корозії) - запобігають руйнуванню металевих поверхонь. Миючі присадки (детергенти) - підтримують чистоту деталей і перешкоджають утворенню відкладень.

Антипінні присадки - знижують піноутворення під час роботи мастильного матеріалу.

Отже в майбутньому провідні виробники мастильних матеріалів, вчені, а також споживачі все більше і більше будуть проявляти інтерес до проблем покращення і зміну основних властивостей мастильних матеріалів, шляхом додавання різних добавок для надання особливих характеристик або усунення небажаних властивостей за рахунок введення різного роду присадок. Вибір присадок до оливи повинен бути заснований саме на даних аналізу умов тертя і характеру пошкоджень контактних поверхонь, у випадку неправильного вибору присадки, може слідувати протилежний ефект, зокрема підвищене зношування або погіршення фізико-хімічних властивостей олив.

Список використаних джерел

1. Троценко О. В. Поліфункціональні присадки до паливно-мастильних матеріалів / О. В. Троценко, А. Б. Григоров, В. М. Назаров [та ін.] // Вуглехімічний журнал = Journal of coal chemistry. – 2021. – № 5. – С. 38-44.

2. Галущак О.О. Покращення показників автобусів комунального підприємства "Вінницька транспортна компанія" використанням суміші палив / Галущак О.О., Галущак Д.О., Кужель В.П., Паулюкас Арвідас // Матеріали XI-ої міжнародної науково-технічної інтернет - конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 13-14 квітня 2023 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 95 – 97.

3. Грицук І. В. Удосконалення методу визначення витрати палива транспортного засобу, працюючого на альтернативному паливі / І. В. Грицук, В. П. Волков, Д. С. Погорлецький, В. П. Кужель, Т. В. Волкова // Вісник машинобудування та транспорту 1(17) 2023 - С. 30-38. DOI https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-30-38.

Кужель Володимир Петрович – к.т.н., доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Слободян Віктор Володимирович - студент групи 1АТ-24м, факультет машинобудування та транспорту, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Шонік Руслан Дмитрович - студент групи 1АТ-24м, факультет машинобудування та транспорту, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Kuzhel Volodymyr P. – Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Slobodyan Viktor V. - student of group 1AT-24m, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University

Shonik Ruslan D. - student of group 1AT-24m, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University

УДК 629.113

Ю.Ю. Кукурудзяк, В.О. Калашніков, А.П. Поліщук

ОСОБЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

Розглянуто і проаналізовано сучасні підходи щодо діагностування автомобільних мехатронних систем із застосуванням різних груп діагностичного обладнання. Визначені особливості та етапи виконання діагностичних процедур.

Ключові слова: *автомобільна мехатронна система, діагностування, сканер, осцилограф, мультиметр.*

Modern approaches to diagnosing automotive mechatronic systems using various groups of diagnostic equipment are considered and analyzed. The features and stages of performing diagnostic procedures are determined..

Keywords: *automotive mechatronic system, diagnostics, scanner, oscilloscope, multimeter.*

Автомобільні мехатронні системи у сучасних автомобілях становлять багаторівневі об’єкти керування з інтегрованими датчиками, виконавчими пристроями та електронними блоками керування (ЕБК), об’єднаними шинами CAN. У виробничо-сервісних умовах станції технічного обслуговування результативна діагностика таких систем вимагає поєднання алгоритмічно впорядкованого збору діагностичної інформації, стандартизованого доступу до ЕБК та підтвердження діагностичних цифрових процедур фізичними вимірами. У межах цієї роботи пропонується технологічно орієнтована модель діагностування, що інтегрує три класи діагностичного обладнання: сканери бортової діагностики OBD, мотор-тестери (цифрові осцилографи) і комбіновані мультиметри у єдиний технологічний ланцюг, адаптований до діагностування автомобільних мехатронних систем на прикладі системи керування двигуном.

Вихідною передумовою такого підходу є уніфікований доступ до функцій бортової діагностики, що охоплюють ідентифікацію ЕБК, зчитування і стирання кодів несправностей, зчитування оперативних даних у реальному часі, запуск керованих процедур і тестування виконавчих пристроїв. Ці сервіси реалізуються на основі протоколів ISO-TP через шину CAN/CAN-FD (ISO 14229-1) [1], забезпечуючи незалежність діагностичних процедур від фізичного середовища передавання. Для контролю екологічної безпеки двигуна використовується множина стандартних служб і параметрів SAE J1979 (EOBD/OBD-II), які надають формалізований набір PIDs (параметрів ідентифікації) для вимірювання навантаження, температур, корекцій палива, стану замкнутого контуру, ефективності каталізатора, фіксування стоп-кадрів «freeze-frame» - моментальних знімків умов спрацювання діагностичних моніторів [2]. Застосування цих стандартів в умовах СТО забезпечує відтворюваність діагностичних процедур і сумісність з різними виробниками.

Послідовність діагностичних процедур включає в себе певні етапи. Перший етап – зчитування цифрової інформації сканером OBD: ієрархія кодів несправностей DTC, стоп-кадри freeze-frame, набори оперативних даних в режимі реального часу відповідно до діагностичних ознак. Для системи керування двигуном це, зокрема, короткочасні й довготривалі паливні корекції, положення дросельної заслінки, масова витрата повітря, тиск у паливній рампі, стани лямбда-зондів і каталізатора, показники системи рециркуляції відпрацьованих газів EGR і системи запалювання, синхронізація колінчастого і розподільного валів. Другий етап – відтворення і аналіз умов виникнення діагностичних ознак: виконується короткий керований цикл (розгін під навантаженням, рух на стабільній швидкості, гальмування двигуном), під час якого дані сканера зчитуються з максимально доступною частотою. Третій етап – фізична верифікація сигналів за допомогою мотор-тестера: осцилограф одночасно контролює опорні напруги, точки «заземлення», форми сигналів датчиків положення колінчастого та розподільчого валів, керування котушками запалювання, форсунками, клапанами VVT, струмові навантаження паливного насоса і надійність «заземлення» під навантаженням. Четвертий етап – перевірка мультиметром: проводяться виміри падіння напруги на плюсових і масових проводах під реальним струмом навантаження, визначається цілісність і опір ланцюгів живлення, перевіряються номінальні параметри термодатчиків та резистивних сенсорів. П’ятий етап –

поєднання та логічний аналіз зібраної інформації (інтеграція параметрів): інформація в цифровій та аналоговій формі поєднується у список допустимих гіпотез із визначенням найбільш ймовірної. Після цього виконується усунення визначеної несправності або повторна діагностика за уточнених умов. Така побудова мінімізує хибні спрацьовування, типові для «статичного» огляду на холостому ходу, і знижує середній час до виявлення причини несправності.

Окремою групою діагностичних сценаріїв є моніторинг запалювання в різних циліндрах двигуна. Для моніторів пропусків запалювання, обов'язкових у складі бортової діагностики, первинним індикатором є лічильники пропусків і відповідні коди DTC категорії P030x. Також потрібно врахувати, що причини збоїв в роботі циліндрів можуть охоплювати не лише зону запалювання, а й нестабільність живлення ЕБК або спотворення сигналу з датчика положення колінчастого вала. Тому доцільно поєднувати зчитування інформації сканером OBD з одночасним зчитуванням осцилограм первинної й вторинної обмоток котушок запалювання, осцилограм спрацювання форсунок впорскування бензину і форми сигналів колінчастого та розподільчого валів. За наявності періодичних, нерегулярних відмов доцільно застосовувати алгоритми виявлення аномалій та порівняння з еталонними осцилограмами [3]. Бази еталонних осцилограм можна сформувати з використанням керованих тестів, що відтворюють профілі навантаження, на яких можуть відбуватися збої.

Друга характерна група несправностей у системі керування двигуном пов'язана з відхиленнями сумарної паливної корекції та нестабільною роботою замкнутого контуру за сигналами кисневих датчиків. Йдеться про ситуації, коли короткочасна та довготривала корекції палива утримуються поза типовими межами, а система періодично виходить із режиму зворотного зв'язку або демонструє хаотичні коливання суміші. Спершу сканером підтверджується, що умови входу до замкнутого контуру виконуються. Якщо спостерігається затримка або «шум» у керуванні зворотним зв'язком, осцилографом фіксуються фазові співвідношення і швидкодія сигналів кисневих датчиків, а також якість «заземлення» під навантаженням. Мультиметр тут застосовується для остаточної перевірки падіння напруги на ланцюгах живлення підігрівача лямбда-зонда і на головних масових з'єднаннях. Коли цифрові та аналогові ознаки суперечливі, пріоритет віддається тесту зі стимулом і очікуваною реакцією. Наприклад, примусовому збагаченню чи збідненню суміші з реєстрацією часу досягнення порогів лямбда-зонда і реакції корекції палива, що дозволяє відокремити проблеми інерційності сенсора від реальної проблеми сумішоутворення.

Порівняльна оцінка застосування різного діагностичного обладнання у контексті діагностування системи керування двигуном виявляє чіткий розподіл ролей. Сканер OBD забезпечує більш швидке отримання інформації на системному рівні. Він більш стандартизований і за його допомогою можна визначити, які монітори підтримуються, у яких режимах вони виконуються, а також проаналізувати роботу зворотних зв'язків. Проте часової роздільної здатності та смуги пропускання сканера недостатньо, щоб зафіксувати окремі швидкоплинні процеси (провали живлення та ін.), які викликають збої в роботі двигуна. Осцилограф, навпаки, є інструментом більш детального відтворення сигналів, здатним показати форму, фронти, накладання перешкод і часові зсуви між пов'язаними сигналами; саме він підтверджує причинність, а не просту кореляцію. Мультиметр слугує засобом швидкої електротехнічної верифікації та доказом вимірювань. Найменша кількість діагностичних помилок досягається тоді, коли всі три джерела зведені в єдину логічну форму і послідовність із явними правилами пріоритетів тестів і фіксацією умов їх виконання.

Запропонована модель спирається на поєднання правил і модельно-орієнтованої діагностики. Для типових вузлів системи керування двигуном (система запалювання, система упорскування бензину, газорозподіл зі змінними фазами, системи рециркуляції відпрацьованих газів, системи наддуву, системи керування дроселем) формуються локальні причинно-наслідкові зв'язки, у яких вершинами є діагностичні ознаки, тести, гіпотези відмов і елементи схем приєднання. Узагальнені огляди модельно-орієнтованих методів підтверджують, що саме така інтеграція підвищує відсоток найбільш оптимального пошуку причин та усунення несправності за рахунок зменшення набору гіпотез, кількості діагностичних процедур і кількості непотрібних розбирань.

Уніфікована модель діагностування автомобільних мехатронних систем на прикладі системи керування двигуном забезпечує логічно зв'язний перехід від цифрової діагностичної

інформації до фізичних вимірювань і назад до формалізованого висновку. Вона поєднує стандартизовані сервіси доступу до ЕБК, алгоритми виявлення ймовірних причин і контрольовані тести, що відтворюють реальні режими експлуатації двигуна. Саме така інтеграція, підкріплена бібліотекою еталонних осцилограм, мінімізує ризики помилкової інтерпретації даних, скорочує простої транспортного засобу й підвищує технологічну спроможність сервісних підрозділів станції технічного обслуговування автомобілів.

Список використаних джерел

1. ISO 14229-1:2020. Road vehicles – Unified diagnostic services (UDS)
2. SAE J1979. Diagnostic Test Modes (OBD-II)
3. Кукурудзяк Ю.Ю., Ребедайло В.М. Метод автоматизованого діагностування системи запалювання та системи керування автомобільним двигуном. Монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 143 с.

Кукурудзяк Юрій Юрійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: uk34@ukr.net

Калашніков Владислав Олегович – студент групи 2АТ-24м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Поліщук Андрій Петрович – студент групи 2АТ-24м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Kukurudziak Yurii Y. – PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: uk34@ukr.net

Kalashnikov Vladislav O. — Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Polishcuk Andrii P. — Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

УДК 656.073.235:004.89:519.876.5

Д.О. Кульова, В.В. Аулін, О.Є. Рубан

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЧЕНИХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВІ АБСТАКТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ

Розглянуто підхід до інтелектуалізації перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом на основі абстрактного моделювання транспортних процесів. Запропоновано опис транспортних ситуацій у вигляді предикатів, зокрема часової колізії прибуття транспортних засобів до логістичних пунктів. Такий підхід створює передумови для розроблення інтелектуальної системи підтримки рішень у сфері транспортної логістики.

Ключові слова: *небезпечні вантажі, предикат колізії, інтелектуалізація процесу перевезення.*

An approach to the intellectualization of dangerous goods transportation by road transport based on abstract modeling of transport processes is considered. Transport situations are proposed to be described in the form of predicates, in particular the temporal collision of vehicle arrivals at logistics points. This approach creates the prerequisites for the development of an intelligent decision support system in the field of transport logistics.

Keywords: *dangerous goods, collision predicate, intellectualization of the transportation process.*

Сучасні виклики в транспортній галузі вимагають переходу від традиційних методів управління перевізним процесом до впровадження інтелектуальних технологій, здатних адаптуватися до динамічних умов середовища та багатофакторних ризиків [1]. Особливої уваги потребує процес перевезення небезпечних вантажів (НВ) [2], під час якого необхідно забезпечити високий рівень безпеки, контроль за станом вантажу та інфраструктури, а також дотримання графіка доставки. Стрімкий розвиток цифрової логістики та смарт-технологій створює підґрунтя для формування нових підходів до управління перевезеннями, орієнтованих на автоматизацію та інтелектуальну підтримку прийняття рішень.

З'ясовано, що розроблення інтелектуальної технології перевезення НВ автомобільним транспортом має ґрунтуватися на основі принципів абстрактного моделювання транспортних процесів, що передбачає формалізацію типових ситуацій у логістичному середовищі та створення бази даних і знань для аналізу й прогнозування транспортних подій [3]. Така технологія має орієнтуватися на управління транспортно-логістичними процесами в режимі реального часу, яке здійснюється диспетчерським і логістичним персоналом автомобільного транспорту під час планування, моніторингу та контролю перевезень, забезпечуючи інтеграцію з іншими видами транспорту та підвищення рівня безпеки перевізного процесу.

Формалізація транспортних ситуацій у вигляді предикатів дозволяє описувати взаємозв'язки між елементами логістичної системи, часовими інтервалами та подіями у процесі перевезення НВ. Застосування предикатного підходу дає змогу відобразити типові конфліктні або критичні стани системи наприклад: затримку, порушення маршруту, перевищення часових обмежень.

На практиці подібні ситуації часто виникають під час доставки НВ до логістичних пунктів з обмеженою пропускною спроможністю – таких як нафтобази, склади або термінали, де одночасно виконуються операції завантаження і розвантаження транспортних засобів (ТЗ). У разі одночасного прибуття кількох ТЗ до одного пункту можливі затримки, порушення черговості обслуговування або перевищення допустимого часу очікування, що безпосередньо впливає на безпеку перевезень і своєчасність доставки. Для запобігання таким ситуаціям доцільно формалізувати ці події у вигляді логічних умов – предикатів, які дозволяють системі автоматично виявляти конфлікти та формувати рішення щодо зміни графіка або маршруту. Зокрема, предикату часової колізії прибуття ТЗ до одного логістичного пункту

$$\beta_{tp}(v_i, v_j, t_n), \tag{1}$$

де v_i – умовне позначення ТЗ, що рухається до логістичного пункту; v_j – умовне позначення ТЗ, що рухається до логістичного пункту з іншого напрямку; t_n – момент виконання події.

Визначено, що в подальшому на основі предикату має бути побудована абстрактна модель транспортного процесу, яка дозволятиме відображати послідовність подій у межах логістичного пункту та виявляти потенційні конфліктні ситуації, пов'язані з обмеженою пропускною спроможністю об'єкта обслуговування.

Таким чином, реалізація моделі для практичного використання персоналом передбачає інтеграцію її у програмне середовище автоматизованого робочого місця диспетчера або логіста. У разі фіксації конфліктних подій користувач отримує сповіщення із запропонованими варіантами рішень – зміною черговості обслуговування, корекцією часу прибуття чи перенаправленням транспортного засобу на альтернативний пункт. Такий підхід сприятиме підвищенню оперативності управлінських дій та зниженню ризику виникнення порушень у перевізному процесі.

Список використаних джерел

1. Аулін В.В., Кульова Д.О., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч.II, С. 205-213. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213

2. Lavrukhin O., Kovalov A., Schevcenko V., Kyman A., Kulova D. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 2, Issue 3 (98). P. 25-31. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163442

3. Lavrukhin O., Vernyhora R., Schevcenko V., Kyman A., Shulika O., Kulova D., Kim K. Forming an automated technology to actively monitor the transportation of dangerous cargoes by railroad. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3, Issue 3 (105). P. 78-85. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205862

Кульова Дар'я Олександрівна – PhD, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: d.coolava@gmail.com

Аулін Віктор Васильович – д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: aulinvv@gmail.com

Рубан Олександр Євгенійович – магістрант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Kulova Daria O. – PhD, Senior Lecturer of the Department of Operation and Maintenance of Machines, Central Ukranian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: d.coolava@gmail.com

Aulin Viktor V. – Dr. tech. sci, Professor, Professor of the Department of Operation and Maintenance of Machines, Central Ukranian National Technical University, Kropyvnytskyi, aulinvv@gmail.com

Ruban Oleksandr Ye. – Master's student of the Department of Operation and Maintenance of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi.

УДК 656.073.53

Є.М. Лебідь

ОПТИМІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-УПРАВЛІНСЬКИХ ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ВИКОНАННІ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Розглянуто доцільність транспортних підприємств при співпраці з замовниками, що потребують доставки товарів у міжнародному автомобільному сполученні. Запропоновано заходи з удосконалення роботи автомобільних перевізників на основі визначення необхідної кількості персоналу та тривалості надання транспортних послуг в залежності від виду вантажу, що надходить на обслуговування.

Ключові слова: *транспортне підприємство, міжнародні перевезення, імітаційна модель, вантаж, автотранспортний засіб.*

The expediency of cooperation between transport enterprises and customers requiring the delivery of goods in international road transport is considered. Measures to improve the performance of motor carriers are proposed based on determining the required number of personnel and the duration of transport services depending on the type of cargo being serviced.

Keywords: *transport enterprise, international transportation, simulation model, cargo, motor vehicle.*

Показники ефективності роботи транспортних підприємств при виконанні міжнародних перевезень небезпечних, негабаритних та генеральних вантажів автомобільним транспортом відображають ступінь організації і планування як внутрішніх бізнес-процесів підприємства, так і його взаємодії з іншими суб'єктами господарювання. Діяльність транспортних підприємств, що мають у власності різні види автотранспортних засобів і спеціалізуються на перевезенні вантажів у міжнародному сполучені, суттєво змінює процедуру планування кадрового та матеріально-технічного забезпечення підприємства в залежності від попиту замовників на перевезення окремих категорій товарів. Окрім цього, можуть виникати об'єктивні труднощі, що пов'язані з інформацією про тривалість виконання обслуговування при перевезенні небезпечних, негабаритних та генеральних вантажів на кожному етапі співпраці з замовниками, тому що процеси, які здійснюються транспортним підприємством можуть відрізнятися в залежності від кваліфікації персоналу, наявності помилок у їх роботі та часу, необхідного для їх усунення.

Перевезення кожного виду вантажу характеризується різними етапами обслуговування, які виконуються профільними фахівцями транспортного підприємства. При цьому, здебільшого, парк транспортних засобів складається з рухомого складу, призначеного для перевезення окремої категорії вантажу. Найбільш поширеним є рух транспортних засобів у прямому сполученні з вантажем, а у зворотному напрямку можливий варіант наявності товару, або порожній пробіг автомобіля. Окрім цього, на процес обслуговування впливає якість роботи фахівців транспортного підприємства, що виконують свої посадові обов'язки з імовірністю допущення помилок у обслуговуванні та без помилок. Відповідно, важливими аспектами також є імовірність виникнення помилок та затримок на кожному етапі, а також середній час затримок при виникненні помилок. Це дозволяє визначити тривалість транспортного обслуговування замовників в залежності від виду вантажу та маршруту перевезення, встановити необхідну кількість персоналу підприємства за профілем діяльності та обґрунтувати показники ефективності роботи парку транспортних засобів в залежності від попиту на перевезення. Зокрема, може бути скорочена тривалість транспортного обслуговування при оптимізації роботи персоналу підприємства шляхом корегування його кількісного та якісного складу з урахуванням попиту на перевезення та наявної кількості автотранспортних засобів.

Зазвичай співпраця замовників з транспортними підприємствами при виконанні міжнародних автомобільних перевезень має досить нестабільних характер, оскільки, кожен суб'єкт господарювання здійснює планування бізнес-процесів в залежності від наявного кадрового та матеріально-технічного забезпечення. Тому доцільним є удосконалення внутрішніх процесів підприємства з метою підвищення його конкурентоздатності на ринку та застосування інструментів з визначення тривалості транспортного обслуговування окремого замовника в

залежності від виду вантажу, що надається ним до перевезення. Сучасним транспортним підприємствам досить складно на початковому етапі обслуговування інформувати замовників про часові регламенти надання послуг ґрунтуючись на урахуванні тривалості виконання усіх видів робіт фахівцями підприємства на різних етапах обслуговування. Але використання таких заходів є обґрунтованим тільки за умови обслуговування обмеженої кількості замовлень на одному виді маршруту, а не порівняння різних видів вантажів. У практичній діяльності при пошуках напрямків скорочення тривалості транспортного обслуговування виникають об'єктивні труднощі, що пов'язані з недостатньою кількістю актуальної інформації про тривалість виконання усіх етапів доставки як в межах транспортного підприємства, так і при взаємодії з іншими суб'єктами господарювання. Окрім цього, в залежності від кількості фахівців, що працюють на транспортному підприємстві визначається тривалість надання послуг при русі автотранспортного засобу у зворотному сполученні з вантажем або без вантажу.

В рамках проведеного дослідження запропоновано спосіб подолання цих труднощів. Він заснований на тому, що процедура визначення оптимальної кількості фахівців для роботи на транспортному підприємстві повинна враховувати імовірність наявності помилок в обслуговуванні та без допущення помилок, а також імовірність виникнення помилок і затримок на кожному етапі обслуговування та середній час затримки при виникненні помилок. Такий спосіб дозволить отримати показники ефективності роботи фахівців підприємства при обслуговуванні небезпечних, негабаритних та генеральних вантажів.

З практичної точки зору запропоноване рішення дозволяє визначити оптимальну кількість фахівців транспортного підприємства для обслуговування поточного потоку замовлень і наявної кількості рухомого складу, а також здійснювати планування на майбутні періоди діяльності. Таким чином, прикладним аспектом використання отриманого наукового результату є можливість оптимізації управлінських заходів при наданні транспортних послуг з організації міжнародних автомобільних перевезень небезпечних, негабаритних та генеральних вантажів. Це складає передумови для налагодження стійких партнерських взаємин між транспортними підприємствами та замовниками послуг, а також планування термінів виконання доставки товару.

Список використаних джерел

1. Krzyżewska, I. (2021). Problems in the organisation of the transport process on the international market. Zeszyty Naukowe. Transport - Politechnika ŚLąska, 113–123. https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.112.7.9.

2. Волобуєва, Т. В., Сирота, В. М., Мастепан, С. М., & Мастепан, М. А. (2024). Формування умов ефективного функціонування транспортної системи автотранспортного підприємства. Вісник машинобудування та транспорту, 19(1), 21–28. https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-21-28

3. Owczarek, P., Brzezinski, M., & Zelkowski, J. (2022). Evaluation of light commercial vehicles operation process in a transport company using the regression modelling method. Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. https://doi.org/10.17531/ein.2022.3.13.

4. Martin Hrusovský, Emrah Demir, Werner Jammernegg, Tom Van Woensel. Real-time disruption management approach for intermodal freight transportation. Journal of Cleaner Production. Volume 280, Part 2, 2021, 124826, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124826 Q1

5. Popa, C. (2022). The analysis of freight forwarding services using the business process modelling tools. Scientific Bulletin of Naval Academy. https://doi.org/10.21279/1454-864x-22-i2-011.

Лебідь Євгеній Михайлович – к.т.н., доцент, доцент кафедри логістики та проєктного менеджменту, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: eugene.lebed@gmail.com.

Lebid Ievgenii – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Logistics and Project Management, National Transport University, Kyiv, e-mail: eugene.lebed@gmail.com.

УДК 378.147:656.073:004.9(477)

І.Г. Лебідь

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Здійснено аналіз сучасного стану підготовки бакалаврів в галузі автомобільного транспорту з урахуванням практикоорієнтованого підходу. Досліджено основні технічні та особистісні навички, необхідні для фахівців транспортної галузі у відповідності до вимог ринку. Обґрунтовано доцільність застосування системного підходу до розробки навчальних планів при підготовці фахівців для транспортно-логістичних підприємств.

Ключові слова: *професійна підготовка; бакалаври; транспортні технології; компетентності; практикоорієнтованість.*

The analysis of the current state of bachelor's training in the field of motor transport, considering the practice-oriented approach, is carried out. The main technical and personal skills required for specialists in the transport industry in accordance with market demands are studied. The expediency of applying a systematic approach to the development of curricula for training specialists for transport and logistics enterprises is substantiated.

Keywords: *professional training; bachelor students; transport technologies; competencies; practice-oriented approach.*

Питання фахової підготовки бакалаврів в галузі автомобільного транспорту набуває актуальності в умовах зростання потреб роботодавців у кваліфікованих фахівцях, здатних забезпечити ефективне функціонування підприємств транспортно-логістичного комплексу. Сучасний ринок праці віддає перевагу фахівцям, які володіють як організаційно-технічними навичками (управління, планування, оптимізація, робота з програмним забезпеченням, знання законодавчої бази, ведення документообігу, фінансова грамотність), так і особистісними навичками (комунікація, вирішення проблемних ситуацій, аналітичне та стратегічне мислення, увага до деталей, стресостійкість, володіння іноземними мовами). Тому, для підготовки конкурентоспроможного фахівця необхідно розробляти методики підготовки, які за своїм змістом здатні забезпечити максимально можливий обсяг професійних компетентностей майбутнього фахівця транспортної галузі.

Стратегічна важливість сфери транспорту для економіки держави в умовах глобалізації та цифровізації потребує посилення залучення закладів вищої освіти до підготовки майбутніх бакалаврів у сфері автомобільного транспорту, здатних інтегрувати набуті знання у бізнес-процеси суб'єктів господарювання. Активна трансформація освітніх та виробничих процесів потребує застосування системного наукового підходу до розробки загальних та спеціальних компетентностей, результатів навчання, формування обов'язкових та вибіркових компонентів.

Міжнародний досвід свідчить, що за умови об'єднання зусиль держави, закладів освіти, роботодавців та інших стейкголдерів можливо досягнути спільної мети у розвитку транспортної галузі шляхом підготовки фахівців, здатних зайняти відповідні професійні позиції одразу після завершення навчання. Для отримання таких результатів потрібно проводити наукові дослідження з метою виявлення основних закономірностей впливу на рівень мотивації вступу абітурієнтів на дану спеціальність, їх усвідомлення перспектив та кар'єрного зростання, а також фінансових та моральних вигід від роботи у галузі. Як науковий напрямок, підготовка бакалаврів у галузі автомобільного транспорту, є недостатньо вивченим та потребує застосування сучасних підходів до розробки заходів з удосконалення взаємодії між усіма зацікавленими сторонами для формування єдиної стратегії розвитку транспортно-логістичної діяльності.

В періоди пандемії та війни в Україні потреба у кваліфікованих кадрах особливо гостро постала перед роботодавцями, в свою чергу заклади освіти, здебільшого, зорієнтовані на теоретичну підготовку здобувачів, тому процес працевлаштування та адаптації на місці роботи дещо ускладнюється за рахунок зростання тривалості інтеграції фахівця у виробничі процеси підприємства. Тому, актуальним є впровадження наукових підходів з метою урахування різних чинників впливу на ефективність підготовки здобувача під час навчання у відповідності до вимог ринку.

Значну увагу у наукових дослідження приділено формуванню професійних компетентностей у фахівців транспортної галузі [1-3]. Суттєвою перевагою такого підходу є можливість планування навчального процесу на основі розробки обов'язкових і вибіркових дисциплін у відповідності до вимог профільних підприємств. Дане впровадження забезпечить отримання необхідних теоретичних і практичних знань під час навчання. Окрім цього, стане можливим врахувати специфіку усіх напрямків діяльності транспортно-логістичних підприємств для всебічної обізнаності майбутніх фахівців. Одним з ключових аспектів сьогодення для будь-якої сфери діяльності, а особливо транспортної, є застосування інноваційних рішень у виробничій діяльності суб'єктів господарювання [4-5]. Основними з яких є автоматизація організаційно-управлінських, технічних та технологічних процесів, застосування сучасних інформаційних технологій, здатних впливати на тривалість, вартість, якість та надійність обслуговування. В свою чергу, дані впровадження позитивним чином вливатимуть як на результати самого підприємства, так і на фінансову мотивацію працівників. Тому обізнаність здобувачів щодо можливостей застосування прогресивних технологій у професійній діяльності профільних підприємств дозволить підвищити їх конкурентоздатність на ринку праці. Кожен сьогоднішній або майбутній студент потенційно стане власником підприємства, керівником відділу, займатиме посаду управлінця або технічного працівника. Індивідуальний кар'єрний шляє потребує вибору найбільш ефективної стратегії, виходячи з можливостей, потреб та амбіцій окремого фахівця [6]. Тому, досить важливо адаптуватися до ринкових змін, розвивати свої професійні навички, поєднувати теоретичні та практичні знання з метою розширення особистих перспектив та набуття нових компетентностей.

Список використаної літератури

1. Дніпровська Т. В. Формування управлінської компетентності майбутніх інженерів автомобільного транспорту: комунікативний аспект : дис… канд. пед. наук : 13.00.04. Київ, 2016. 183.

2. Копитков Д. М. Педагогічні умови формування професійної компетентності фахівців з організації перевезень і управління на автомобільному транспорті : дис… канд. пед. наук : 13.00.04. Тернопіль, 2014. 182 с.

4. Пригодій А., Аноп Т. Професійна компетентність й оцінка її сформованості у майбутніх спеціалістів у галузі транспорту. *Вісник Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т .Г. Шевченка: Серія "Педагогічні науки"*. 2022. № 14-15. С. 105–109. URL: https://doi.org/10.5281/zenodo.5938803 (дата звернення: 03.10.2025).

3. Корєхов А О. Формування готовності майбутніх бакалаврів автомобільного транспорту до застосування інформаційно-комунікаційних технологій у професійній діяльності : дис… канд. пед. наук : 13.00.04. Хмельницький, 2020. 185 с. URL: https://surl.lt/hbwqca (дата звернення: 05.10.2025).

5. Романов Л. А. Формування готовності майбутніх кваліфікованих робітників автотранспортної галузі до застосування інноваційних виробничих технологій : дис… канд. пед. наук : 13.00.04. Київ, 2021. 184 с. https://surl.li/lmhtpk.

6. Спіцина А. Розвиток стратегії управління персоналом як невід'ємної частини стратегічної перспективи транспортної галузі. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2023. No 320(4). С. 451–465. URL: https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-320-4-68 (дата звернення: 05.10.2025).

Лебідь Ірина Георгіївна – к.т.н., професор, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: i.h.lebed@gmail.com.

Lebid Iryna H. – Ph.D. (Eng.), Professor, Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: i.h.lebed@gmail.com.

УДК 656.1:331.45:005.53

О.М. Лівіцький, В.З. Гудь, О.В. Бевз, С.О. Магопець

СИСТЕМНО-АДАПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ РУХУ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

У роботі розглянуто системно-адаптивний підхід до забезпечення охорони праці та безпеки руху на автомобільному транспорті, зокрема в умовах агропромислового виробництва. Проведено аналіз сучасного стану проблеми, причин та чинників, що впливають на рівень аварійності й травматизму водіїв. Встановлено, що переважна більшість дорожньо-транспортних подій у сільських регіонах зумовлена поєднанням людського фактора, технічного стану транспортних засобів та незадовільних дорожніх умов. Особливу увагу приділено необхідності вдосконалення методів аналізу безпеки руху із застосуванням імовірнісного підходу.

Запропоновано методологічні засади запобігання аварійності та травматизму водіїв, що включають імовірнісно-статистичні показники безпеки, критерії оцінювання ефективності інженерно-технічних заходів і методику вибору оптимальних рішень з урахуванням надійності автотранспортних засобів. Визначено, що реалізація системно-адаптивного підходу сприятиме підвищенню надійності транспортних процесів, зменшенню аварійності та створенню безпечних умов праці водіїв.

Ключові слова: *безпека руху, охорона праці, надійність водія, транспортна аварійність, агропромислове виробництво, імовірнісний аналіз, інженерно-технічні заходи.*

The paper considers a system-adaptive approach to ensuring occupational health and safety in road transport, in particular in the conditions of agro-industrial production. An analysis of the current state of the problem, causes and factors affecting the level of accidents and injuries of drivers has been carried out. It has been established that the vast majority of road accidents in rural regions are caused by a combination of the human factor, the technical condition of vehicles and unsatisfactory road conditions. Particular attention is paid to the need to improve methods for analyzing traffic safety using a probabilistic approach. Methodological principles for preventing accidents and injuries of drivers have been proposed, which include probabilistic and statistical safety indicators, criteria for assessing the effectiveness of engineering and technical measures and a methodology for selecting optimal solutions taking into account the reliability of motor vehicles. It has been determined that the implementation of a system-adaptive approach will contribute to increasing the reliability of transport processes, reducing accidents and creating safe working conditions for drivers.

Keywords: *traffic safety, occupational safety, driver reliability, transport accident rate, agro-industrial production, probabilistic analysis, engineering and technical measures.*

Безпека транспортних робіт в агропромисловому комплексі зумовлюється характеристиками системи взаємодії водій — транспортний засіб — дорога — середовище (ВТЗДС) та проявляється безпосередньо під час практичного виконання перевезень. Для детальнішого аналізу розглянемо ключові етапи діяльності автотранспортних підприємств (АТП) в агропромисловому виробництві (АПВ). Робота АТП охоплює три головні стадії:

– організацію транспортних робіт;

– забезпечення безпечного виконання транспортних операцій (рейсів);

– оцінювання та аналіз результатів транспортних робіт з позиції безпеки.

Організаційний етап є підготовчим і найбільш трудомістким. Він передбачає прийняття управлінських рішень щодо виконання перевезень, їх планування та підготовку всіх необхідних ресурсів. Рішення про здійснення транспортних робіт ухвалюється керівником підприємства, виходячи з виробничих завдань, технічного стану й готовності транспортних засобів, наявності систем управління та контролю безпеки руху, рівня підготовленості водіїв і часу, відведеного на підготовку до рейсів.

Планування транспортних рейсів здійснюється керівним складом підприємства і включає складання нарядів, визначення завдань інженерно-технічним працівникам щодо підготовки автотранспортних засобів (АТЗ), а також розподіл обов’язків між підрозділами. Відділ перевезень

організовує підготовку водіїв, транспортних засобів, диспетчерської служби та засобів управління рухом.

Безпосереднє виконання транспортних робіт є головним етапом діяльності АТП. У цей період водії здійснюють рейси, а керівний персонал забезпечує контроль, координацію та управління процесом перевезень. Управління транспортними операціями передбачає планування, координацію дій підрозділів і належне технічне забезпечення. Диспетчерська служба організовує безперервне регулювання руху ТЗ, контролює виконання рейсів і дбає про дотримання вимог безпеки.

Для підвищення надійності роботи транспортних засобів (ТЗ), запобігання аварійним ситуаціям і своєчасного реагування на небезпечні події організовуються різні види забезпечення рейсів – інженерне, метеорологічне, медичне тощо. Вирішальну роль відіграє інженерне забезпечення, що покладається на інженерну службу підприємства. Її основними завданнями є підтримання техніки у справному стані, раціональна експлуатація, своєчасна підготовка транспортних засобів до рейсів і забезпечення їх збереження.

Координацію робіт з технічної підготовки транспорту здійснює головний інженер, який визначає необхідні ресурси та персонал для якісного виконання транспортних завдань. Безпосереднє керівництво обслуговуючим персоналом під час підготовки й виконання рейсів покладається на майстрів і начальників колон.

Підбиття підсумків безпеки дорожнього руху, зокрема проведення Дня безпеки, є завершальним етапом реалізації транспортних робіт. На цьому етапі здійснюється аналіз діяльності транспортного підрозділу, оцінюється якість організації безпечної роботи, а також визначаються напрями для подальшого підвищення рівня безпеки перевезень. Ця стадія має важливе значення у загальній структурі діяльності автотранспортного підприємства (АТП).

Досягнення високої якості виконання рейсів і забезпечення безаварійної роботи можливе лише за умови належної організації транспортного процесу, професійного аналізу результатів та впровадження системного підходу до безпеки руху.

Специфіка проблем безпеки транспортних робіт визначається сукупністю взаємодіючих елементів системи ВТЗДС (водій — транспортний засіб — дорога — середовище). Одним із вагомих чинників, що впливає на рівень безпеки, є поведінка пішоходів. За статистикою, їхня вина у дорожньо-транспортних пригодах становить від 25% і більше. Незважаючи на це, система безпеки руху повинна бути спрямована передусім на підвищення надійності всіх складових ВТЗДС, не зменшуючи при цьому важливості профілактичної роботи з пішоходами, особливо з дітьми.

Важливість кожного елемента системи безпеки руху є різною, однак лише комплексне вдосконалення всіх складових може гарантувати стабільне зниження аварійності. Вимоги до кожного з компонентів визначаються відповідними нормативними актами (ДСТУ, ГОСТ, ОСТ). Як свідчить вітчизняний і міжнародний досвід, внесок окремих елементів системи ВТЗДС у загальний рівень безпеки є нерівнозначним.

Аналіз дорожньо-транспортних пригод (ДТП) у зимовий період демонструє, що більшість інцидентів трапляється через занесення транспортних засобів на слизькому покритті, складання автопоїздів, відмови рульового управління тощо. Оснащення автомобілів антиблокувальними гальмівними системами (АБС) істотно знижує кількість аварійних випадків.

Серед технічних причин небезпеки руху виділяються недостатня зчіплюваність шин із дорогою, неоптимальний рисунок протектора, відсутність шипів, а також недоліки в конструкції освітлювальних приладів, які можуть засліплювати інших учасників руху. Відповідно до пункту 10.1 Правил дорожнього руху, водій зобов’язаний обирати швидкість, що забезпечує повну безпеку руху, аж до можливості зупинки ТЗ. Проте неправильне використання гальмівної системи в складних погодних умовах може не лише не допомогти, а й стати причиною аварії.

Хоча технічний стан автомобіля має значення, ключову роль у системі безпеки дорожнього руху відіграє водій, на якого припадає понад 70% причин ДТП. Водій повинен мати відповідний психофізіологічний стан, достатні навички керування, знання правил дорожнього руху та свідоме бажання дотримуватися встановлених норм.

Основною причиною ДТП з вини водіїв є недисциплінованість, що спричиняє до 80% таких подій. Інші фактори – як-от недостатня професійна підготовка, брак досвіду у складних дорожніх ситуаціях або втома – трапляються значно рідше. Найпоширенішими порушеннями

залишаються керування в нетверезому стані, перевищення швидкості, неправильне виконання обгону, виїзд на зустрічну смугу та ігнорування правил проїзду перехресть чи залізничних переїздів.

Таким чином, чинник "Водій" має вирішальне значення в системі безпеки дорожнього руху. Його вплив є набагато складнішим і вагомішим, ніж фактори, пов'язані лише з технічним станом ТЗ або станом дорожньої інфраструктури.

Надійність діяльності водія – це його здатність адекватно, точно й своєчасно оцінювати дорожньо-транспортні ситуації, що виникають під час руху, та правильно реагувати на їх зміни протягом робочої зміни. В АТП підвищення рівня надійності роботи водіїв забезпечується відповідними службами та громадськими організаціями, які діють згідно з чинними нормативними документами, накопиченим досвідом і методичними рекомендаціями.

Безпека дорожнього руху значною мірою залежить від стану дорожніх умов, які потребують постійного вдосконалення. Їхній реальний вплив на безпеку перевищує статистично зафіксований показник у 8%. Важливість конструктивних особливостей дороги, її технічних характеристик і стану важко переоцінити. Масове будівництво якісних доріг залишається складним завданням, однак держава приділяє цьому питанню значну увагу, оскільки розширення дорожньої мережі має не лише економічне, а й соціальне значення, одночасно підвищуючи рівень безпеки руху, особливо у сільській місцевості.

Дослідження свідчать, що на безпеку руху впливають такі параметри дороги, як інтенсивність транспортного потоку, ширина проїжджої частини, радіуси закруглень, наявність розділювальних смуг, ухили та видимість. Найбільш небезпечними вважаються дефекти дорожнього покриття, особливо за несприятливих погодних умов. Основними факторами, що визначають стан дороги, є рівність покриття, коефіцієнт зчеплення коліс із дорогою, стан узбіччя, наявність звужень смуги руху, якість облаштування та забезпечення належної видимості.

Багато автомобільних доріг сьогодні не відповідають фактичній інтенсивності транспортних потоків, особливо в осінньо-зимовий період. Порядок їхньої експлуатації регламентується низкою нормативних актів, у яких визначено обов'язки дорожніх служб щодо підтримання проїзної частини у стані, придатному для безпечного руху. За умов інтенсивних вантажних і пасажирських перевезень особливої ваги набуває суворе дотримання вимог до технічного стану доріг. Завдання працівників служб експлуатації та підрозділів безпеки АТП щодо контролю дорожніх умов визначені у відповідних керівних документах.

Аналіз аварійності на транспорті свідчить, що сучасні підходи до забезпечення безпеки руху потребують подальшого вдосконалення. З урахуванням швидкого розвитку транспортних засобів необхідне поглиблення методів аналізу причин ДТП та оптимізація заходів із мінімізації їх наслідків.

На безпеку дорожнього руху впливають численні фактори: технічні несправності ТЗ, помилки водіїв, незадовільний стан доріг, а також природні аномалії. Під час виконання рейсів водії стикаються з різними дорожніми ситуаціями, які поділяють на нормальні та особливі (небезпечні).

Особлива ситуація — це обстановка, що виникає внаслідок дії несприятливих факторів під час руху. Залежно від рівня небезпеки особливі ситуації класифікують як катастрофічні, аварійні, небезпечні або ускладнені.

Під час розвитку небезпечної ситуації змінюються параметри руху транспортного засобу. Ті з них, що мають граничні значення для забезпечення безпеки, називають визначальними параметрами. До таких належать максимальна швидкість, критичний кут перекидання, критична швидкість проходження повороту тощо. Граничне значення визначального параметра – це та межа, при якій ситуація переходить у фазу аварії або катастрофи. Для безпечного руху необхідно, щоб фактичні параметри не досягали своїх граничних меж, тобто зберігався запас безпеки. Допустимим вважають таке значення параметра, яке забезпечує стабільність руху без ризику втрати керованості. Критичним називається параметр, який у конкретній ситуації першим досягає небезпечного рівня.

Якщо один або кілька визначальних параметрів перевищують допустимі значення, це призводить до виникнення ДТП – перекидання, зіткнення, наїзду на перешкоду чи пішохода.

Ймовірність запобігання або, навпаки, виникнення ДТП з'являється одночасно з проявом фактора, який становить загрозу безпеці руху. Підсумок у таких умовах залежить від своєчасності

та адекватності реакції водія, а також від технічного стану систем керування ТЗ – рульового управління, гальмівної системи та інших.

Аналіз наукових джерел і практичного стану проблеми дозволяє зробити такі висновки:

– рівень травматизму серед водіїв ТЗ у АПВ залишається стабільно високим. Понад 60% випадків пов'язані безпосередньо з транспортними подіями;

– чинники, причини та умови виникнення ДТП детально вивчені переважно для міських умов і автомагістралей, тоді як питання травматизму водіїв у сільській місцевості досліджено недостатньо;

– проведений аналіз свідчить, що транспортні події у АГВ відбуваються через порушення правил дорожнього руху, нехтування вимогами безпеки, незадовільний технічний стан транспортних засобів і низьку якість дорожньої інфраструктури. У сільській місцевості цей стан часто оцінюється як критичний. ДТП, як правило, мають комплексний характер і спричинені поєднанням декількох факторів. Так, на десять пригод у сільській місцевості припадає до 21 причини, тоді як у міських умовах – близько 18. Всі причини умовно можна поділити на три групи: пов'язані з людиною, технічним станом ТЗ та дорожніми умовами;

– специфіка дорожніх умов у сільських регіонах полягає в тому, що багато доріг мають ґрунтове покриття та повторюють природний рельєф місцевості. Їхній вплив на частоту ДТП досі недостатньо досліджений і потребує подальших наукових досліджень;

– існуючі методи аналізу транспортного травматизму не в повній мірі дозволяють визначити технічні передумови нещасних випадків. До 40% летальних наслідків, віднесених до технічних причин, пов'язані з недосконалістю гальмівних систем;

– характер причин ДТП має стохастичну природу. Водночас у науковій літературі приділено недостатньо уваги застосуванню теорії ймовірностей при оцінюванні рівня безпеки руху та розробці відповідних показників;

– наразі відсутня методика оцінювання ефективності запланованих заходів щодо зниження аварійності ще до їх практичного впровадження, особливо в частині усунення технічних несправностей ТЗ;

– також бракує уніфікованої методики оцінки технічних систем ТЗ, що безпосередньо впливають на підвищення безпеки руху.

Список використаних джерел

1. Кашканова А. А., Біліченко В. В. Аспекти забезпечення безпеки дорожнього руху в транспортних системах міст України. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2024, №1(22), С. 170-181. https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1358.

2. Пострaнський Т.М. Психофізіологічні властивості водія та безпека дорожнього руху : монографія / Т. М. Пострaнський, Ю. П. Кривенчук; за заг. ред Т. М. Пострaнського. – Львів : Вид-во Тараса Сороки, 2022. – 192 с.

3. Критерії вибору великовагових транспортних засобів для ефективних і безпечних перевезень / В. В. Аулін, О. М. Тертиця, Т. М. Надич [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 2. - С. 169-187.

4. Lavrukhin O., Kovalov A., Schevcenko V., Kyman A., Kulova D. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 2, Issue 3 (98). P. 25-31. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163442

Лівіцький Олександр Володимирович **–** к.т.н., ст. викл. кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: Livitskyi885@gmail.com

Гудь Віктор Зіновійович **–** д.т.н., доцент, проф. кафедри автомобілів, Тернопільського національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: vic_g@ukr.net

Бевз Олег Вікторович **–** к.т.н., доц., декан факультету Будівництва, транспорту та енергетики, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: oleg_bevz@ukr.net

Магопець Сергій Олександрович **–** к.т.н., доц., завідувач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: magserg@ukr.net

Livitskyi Oleksandr Volodymyrovych **–** Ph.D., Senior Lecturer, Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: Livitskyi885@gmail.com

Hud Viktor Zinoviyovych **–** Ph.D., Associate Professor, Professor, Department of Automobiles, Ternopil National Technical University named after I. Pulyuya, Ternopil, e-mail: vic_g@ukr.net

Oleg Viktorovych Bevz **–** Ph.D., Associate Professor, Dean of the Faculty of Construction, Transport and Energy, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: oleg_bevz@ukr.net

Serhiy Oleksandrovych Magopets **–** Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: magserg@ukr.net

УДК 629.3.07

О.Л. Ляшук, Д.В. Міронов, А.П. Луцик

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ПОСЛІДОВНОЮ КОНФІГУРАЦІЄЮ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

Розглянуто методологію моделювання автомобіля з гібридною силовою установкою (ГСУ) послідовного типу із урахуванням взаємодії електричних, механічних і теплових підсистем. Сформовано структурну схему у MATLAB/Simulink, де моделі двигуна внутрішнього згоряння, електричного двигуна та акумуляторної батареї поєднані засобами керування в Stateflow-середовищі.

Ключові слова: *гібридна силова установка, електричний привід, математичне моделювання, MATLAB/Simulink, енергоефективність.*

The methodology for modeling a hybrid electric vehicle with a series powertrain configuration is presented. The model integrates the internal combustion engine, electric motor, and traction battery subsystems within a MATLAB/Simulink and Stateflow environment to evaluate interaction efficiency and dynamic response.

Keywords: *hybrid powertrain, electric drive, mathematical modeling, MATLAB/Simulink, energy efficiency.*

Автомобіль із гібридною силовою установкою (ГСУ) є складною мехатронною системою, що забезпечує узгоджену роботу електричних, механічних і теплових підсистем. Під час моделювання автомобіля з ГСУ симуляція як об'єкта керування, так і алгоритму керування повинна виконуватися в єдиному середовищі. Такий підхід дозволяє оптимізувати роботу всієї системи. Існує кілька підходів до моделювання. Один із них – це моделювання від силової установки до приводу ведучих коліс [1–2]. Такий метод застосовується у випадках, коли необхідне швидке виконання моделі з невеликою кількістю ітерацій симуляції та нижньою точністю. Цей метод є більш раціональним, оскільки умови роботи відомі вже на початковому етапі проєктування. Завдяки цьому можна обґрунтувати загальні вимоги до електричних, механічних і теплових підсистем, а також системи керування силовою установкою автомобіля, а також спрогнозувати енергетичні та техніко-економічні показники агрегату.

Для реалізації описаного методу розглянуто принцип моделювання гібридного автомобіля із послідовною конфігурацією силової установки. Гібридний автомобіль із послідовною схемою є конструктивно простішим (а отже, і простішим щодо моделювання його роботи), ніж гібрид із паралельною схемою, оскільки єдиним рушійним елементом у ньому є електродвигун (рисунок 1).

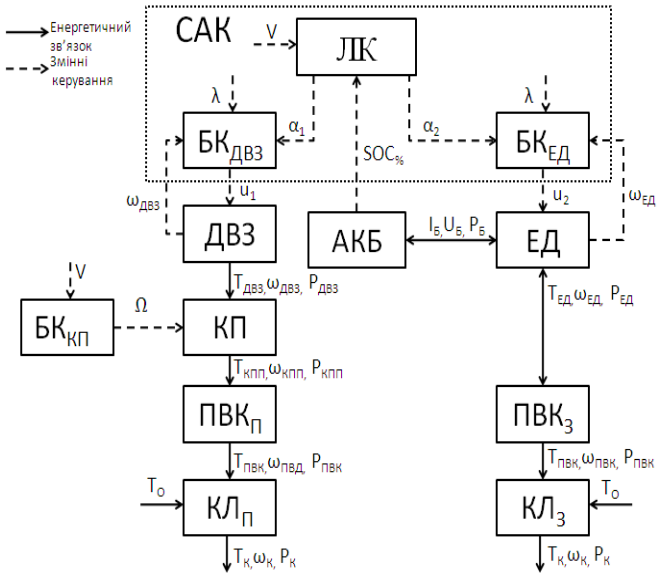


Рисунок 1 – Структурна схема автомобіля з ГСУ послідовного типу

Основними функціональними елементами моделі є: акумуляторна батарея (АКБ), привід ведучих коліс (ПВК) переднього та заднього мостів, двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), електродвигун (ЕД), коробка передач (КП), передні та задні ведучі колеса $КЛ_П$ і $КЛ_З$, блок керування КП ($БК_{КП}$) та система автоматичного керування (САК). Остання об'єднує в собі логіку керування (ЛК) та контури регулювання ДВЗ та електродвигуна, які складаються з блоку керування ДВЗ – $БК_{ДВЗ}$ і блоку керування електродвигуна – $БК_{ЕД}$. Логіка керування формує сигнали керування α_1, α_2, що надходять до $БК_{ДВЗ}$ і $БК_{ЕД}$, вихідними сигналами останніх є u_1 і u_2, що являють собою керуючу дію на ДВЗ та ЕД. Потужність АКБ – $P_Б$, яка пропорційна напрузі $U_Б$ і струму $I_Б$, забезпечує роботу ЕД в тяговому режимі. ЕД працюючи в тяговому режимі, створює механічну потужність $P_{ЕД}$, що пропорційна крутному моменту $T_{ЕД}$ та кутовій швидкості $\omega_{ЕД}$, і передається на $ПВК_З$. Потужність на задніх ведучих колесах $P_К$ визначається потужністю $P_{ПВК}$, яка, в свою чергу, залежить від поточного значення крутного моменту $T_{ПВД}$, кутової швидкості $\omega_{ПВД}$ та моменту сил опору T_o. У гальмівному режимі ЕД перетворює механічну енергію від $ПВК_З$ в електричну та відбувається зарядка батареї акумуляторів. Сила тяги на передніх колесах утворюється за таким саме принципом, тільки замість ЕД використовується ДВЗ (акумулятором енергії є вуглеводневе паливо), також використовується КП. Передаточне число КП змінюється в залежності від сигналу Ω з $БК_{КП}$.

Під час розроблення математичної моделі, яка описує динаміку автомобіля з ГСУ у різних режимах її роботи, не враховувалися пружні та деформівні властивості трансмісії, а також можливе пробуксовування ведучих коліс під час руху. Так само при моделюванні ДВЗ не розглядалися термодинамічні процеси. Ємність акумуляторної батареї, з максимально допустимим рівнем розряду 70 % від загальної ємності, вважалася достатньою для проходження розрахункового їздового циклу. Додатково в моделі були задані параметри дорожнього покриття: дорога вважалася рівною й прямолінійною, з поздовжнім ухилом +5 % і максимальною поперечною кривизною 1,5 %. Як випробувальний цикл було обрано європейський міський цикл ECE 15 [3], тривалістю 195 секунд.

У роботі досліджувалася модель бензинового двигуна з керуванням за кутовою швидкістю. Вхідним параметром моделі ДВЗ є ступінь відкриття дросельної заслінки. До параметрів, які визначають модель двигуна, належать: максимальна потужність, кутова швидкість при цій потужності та максимальна кутова швидкість колінчастого вала. Поточне значення кутової швидкості ω_i подається на вхід моделі двигуна як зворотний зв'язок. Кутова швидкість обмежується умовою $\omega_{\min} \le \omega_i \le \omega_{\max}$. Максимальна потужність двигуна $Pmax$ відповідає швидкості ω_p, отже $P_{max} = f(\omega_p)$. Максимальний крутний момент визначається за виразом [1]:

$$T_{\max} = \frac{P_{\max}}{\omega_{\max}}. \tag{1}$$

Відоме співвідношення застосовано для опису залежності потужності двигуна внутрішнього згоряння від кутової швидкості колінчастого вала:

$$P(\omega) = P_{\max}\left[p_1 \frac{\omega_i}{\omega_N} + p_2 \left(\frac{\omega_i}{\omega_N}\right)^2 + p_3 \left(\frac{\omega_i}{\omega_N}\right)^3 \right], \tag{2}$$

де p_1, p_2, p_3– коефіцієнти Лейдермана, а ω_N – номінальна кутова швидкість колінчастого вала.

Модель електродвигуна представлена як модель колекторного двигуна постійного струму з регулюванням за зворотним зв'язком за моментом [4]. Цей блок описує залежність крутного моменту від кутової швидкості $T_m(\omega_m)$. Використовуючи відомі рівняння, залежність $T_m(\omega_m)$ перетворюється на співвідношення між напругою й струмом $U_m(I_m)$:

$$\begin{cases} I_m = T_m / (k\Phi_m) \\ E_m = k\omega_m\Phi_m \\ U_m = E_m + I_m \sum R_m \end{cases}, \tag{3}$$

де k – конструктивний коефіцієнт двигуна, Φ_m – магнітний потік, R_m – опір обмотки, E_m – електрорушійна сила (ЕРС), а ΣR_m – сумарний опір обмоток. Модель забезпечує отримання заданого моменту при певній швидкості обертання за визначених параметрів блоку.

Модель акумуляторної батареї є динамічною моделлю літій-іонної батареї [1]. Вона складається з двох частин — моделі розряду та моделі заряду. Модель розряду $i^* > 0$:

$$f_1(it, i^*, i) = U_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \cdot \quad (4)$$

Модель розряду $i^* < 0$:

$$f_2(it, i^*, i) = U_0 - K \cdot \frac{Q}{it + 0.1Q} i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it), \quad (5)$$

де U_0 – номінальна ЕРС батареї (В); K – стала поляризації (А·год$^{-1}$) або поляризаційний опір (Ом); i^* – низькочастотний динамічний струм (А); i – струм батареї (А); it – поточна віддана ємність (А·год); Q – максимальна ємність батареї (А·год) та B – експоненційні коефіцієнти напруги та ємності відповідно.

Модель переднього приводу ведучих коліс (рисунок 2) містить основні блоки: передачу зі змінним передатним числом (Variable ratio transmission), систему керування коробкою передач (Gearbox lever), простий редуктор (Simple gear), диференціал (Front differential), а також блоки для моделювання інерційних моментів механізмів.

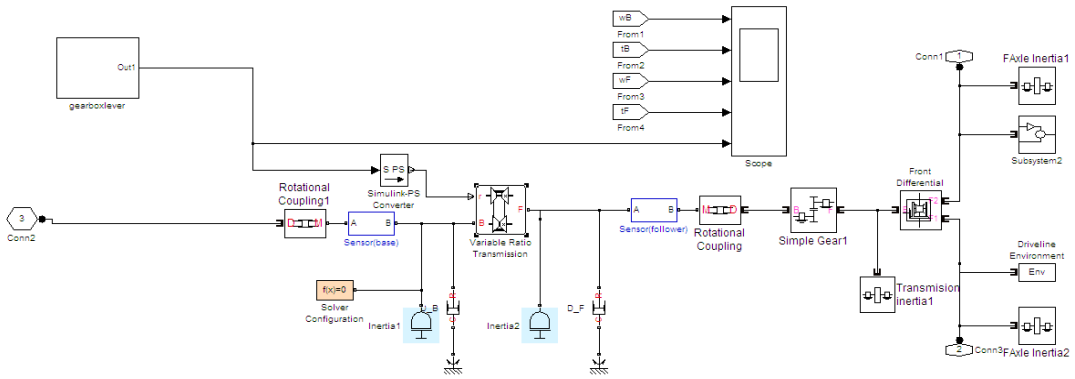


Рисунок 2 – Структурна схема автомобіля з ГСУ послідовного типу

Блок трансмісії представлено як коробку передач, яка динамічно передає кутову швидкість і момент між двома валами залежно від установленого передатного числа. Ігноруючи зміну кутової швидкості через деформацію валів та механічні втрати, модель описується рівняннями:

$$\omega_B = u_{FB}(t)\omega_F, \quad (6)$$

$$T_F = u_{FB}(t)T_B, \quad (7)$$

де ω_B і ω_F – кутові швидкості вхідного та вихідного валів; T_B і T_F – моменти на первинному й вторинному валах відповідно; $u_{FB}(t)$ – передатне число коробки передач, що змінюється з часом залежно від умов руху.

З урахуванням кручення валів миттєва різниця кутових швидкостей визначається як:

$$d\phi / dt = u_{FB}(t)\omega_F - \omega_B. \quad (8)$$

Крутний момент визначається співвідношенням:

$$T_B = -k_P - k_V d\phi / dt, \quad (9)$$

де k_p та k_v – емпіричні коефіцієнти.

Втрати моменту в коробці передач розраховуються за формулою:

$$T_{loos} = T_F(1 - \eta_g), \quad (10)$$

де η_g – коефіцієнт корисної дії коробки.

З урахуванням механічних втрат остаточна модель набуває вигляду:

$$u_{FB}(t)T_B - T_F - T_{loss} = 0. \quad (11)$$

Для підвищення енергоефективності гібридних транспортних засобів у роботі створено математичну модель послідовної силової установки, що дозволяє комплексно оцінювати

взаємодію між двигуном внутрішнього згоряння, електродвигуном і акумуляторною батареєю. На основі моделювання визначено залежності потужності, моменту та швидкості обертання основних компонентів, що забезпечує можливість оптимізації режимів їх роботи та розробку ефективних систем керування енергетичними потоками автомобіля.

Список використаних джерел

1. Cheng R., Dong Z. Modeling and simulation of plug-in hybrid electric powertrain system for different vehicular application // 2015 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC): proceedings. IEEE, 2015.
2. Adachi S., Yoshida S., Miyata H., Kouge T., Inoue D., Takamiya Y., Nagaune F., Kobayashi H., Heinzel T., Nishiura A. Automotive power module technologies for high-speed switching // International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management: proceedings. 2016. P. 1–7.
3. Chen H., Song Z., Zhao X., Zhang T., Pei P., Liang Ch. A review of durability test protocols of the proton exchange membrane fuel cells for vehicle // Applied Energy. 2018. Vol. 224. P. 289–299.
4. Zaripov R. Y., Gavrilov P., Karku A. D., Serikpaev T. M. Ways to reduce the toxicity of diesel exhaust gases Sposoby snijenia toksichnosti vyhlopnyh gazov dizelnogo topliva // Nauka i tekhnika Kazakhstana = Science and technology of Kazakhstan. 2019. No. 1. P. 75–84.
5. Aulin V., Liashuk O., Mironov D., Staliński P., Rutkowski M., Lysenko S. Management-oriented assessment of transport service quality using logistics monitoring system and Harrington's desirability function in support of SDG 9 // Sustainability. 2025. Vol. 17, no. 17. P. 7837.

Ляшук Олег Леонтійович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет, м. Тернопіль, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Міронов Дмитро Вікторович **–** к.т.н., доцент кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет, м. Тернопіль, e-mail: mironov.epz@gmail.com

Луцик Артур Петрович **–** аспірант кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет, м. Тернопіль, e-mail: lutsyk.artur@gmail.com

Liashuk Oleg L. **–** Doctor (Eng.), Full Professor, Professor of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Mironov Dmytro V. **–** PhD (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: mironov.epz@gmail.com

Lutsyk Artur P. **–** Postgraduate Student of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, e-mail: lutsyk.artur@gmail.com

УДК 656.13

Т.В. Макарова, О.О. Степанківська

ЛОГІСТИЧНИЙ АСПЕКТ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Розглянуто логістичний аспект міжнародних автобусних перевезень на основі сукупності факторів, що впливають на продуктивність транспортного процесу і комфорт пасажирів. Запропоновано формули для оцінки ефективності перевезень з урахуванням ймовірності затримок автобусів на кордонах.

Ключові слова: *логістика, міжнародні перевезення, автобус, комфорт, пасажир, ефективність, кордон.*

The logistical aspect of international bus transportation based on the set of factors affecting the productivity of the transport process and passenger comfort was considered. Formulas for assessing the efficiency of transportation taking into account the probability of receiving buses at the borders were considered.

Keywords: *logistics, international transportation, bus, comfort, passenger, efficiency, border.*

Автомобільні перевезення охоплюють як вантажну, так і пасажирську складову, кожна з яких має свої особливості організації, управління та логістичного забезпечення. Основну увагу приділено міжнародним автобусним перевезенням, які посідають вагоме місце у забезпеченні мобільності населення, розвитку ділових контактів і стимулюванні туристичної діяльності [1]. У сучасних умовах інтеграційних процесів в Європі ефективна логістика є ключовим чинником конкурентоспроможності транспортних підприємств [2]. Логістичний аспект організації міжнародних пасажирських перевезень полягає у необхідності забезпечення ефективного, безпечного та комфортного переміщення людей між країнами [3, 4]. Однією з ключових проблем є затримки на кордонах і перевантаженість транспортних шляхів, що впливає на точність графіків і зниження якості обслуговування. Додатково постає питання оптимального використання транспортних ресурсів для забезпечення регулярності рейсів і мінімізації витрат. Необхідним є координація міжнародних перевезень з різними нормативними, митними та інфраструктурними умовами, що вимагає інтегрованого підходу до логістичного планування та управління транспортними потоками.

Щодня здійснюються прямі автобусні рейси між Україною та Польщею, Німеччиною, Чехією, Словаччиною тощо. Таким чином, постає необхідність у забезпеченні належного логістичного супроводу для створення зручного та ефективного транспортного сполучення з країнами Європейського Союзу [2]. Логістичний аспект міжнародних автобусних перевезень доцільно розглядати як сукупність взаємопов'язаних елементів, що формують єдину систему управління транспортним процесом (рисунок 1).



Рисунок 1 – Логістичний аспект організації міжнародних автобусних перевезень

Забезпечення комфорту в автобусі, зокрема зручні сидіння, туалети та кондиціонери, а також організація харчування під час поїздки відноситься до сервісної логістики та впливає на задоволеність пасажирів. Час у дорозі та його залежність від дорожніх умов і проходження кордону належить до транспортної логістики, що включає планування маршрутів і оптимізацію графіків. Частота рейсів відображає ефективне управління ресурсами перевізника, а вибір станцій відправлення та прибуття – транспортно-інфраструктурну логістику, що забезпечує

зручність пересадки на інші види транспорту. Зупинки у містах і населених пунктах пов'язані з маршрутним плануванням та оптимізацією пасажиропотоку.

Інтегральний показник ефективності логістичного процесу автобусних перевезень на маршрутах розраховується за формулою:

$$E = \frac{K_з \cdot F \cdot I_k \cdot (1 - P_з)}{T \cdot (1 + B)},$$

де $K_з$ – коефіцієнт заповнюваності автобуса; F – частота рейсів на тиждень; I_k – індекс комфорту; $P_з$ – ймовірність затримок на кордоні; T – час у дорозі; B – безпека перевезень (кількість аварій або інцидентів).

На ефективність логістичного процесу значно впливає час затримок на кордонах, який залежить від наступних складових: виконання митних та прикордонних процедури, які включають перевірку документів, огляд багажу та транспортних засобів; наявності черг на пунктах пропуску в години «пік»; погодних умов, які можуть ускладнювати процес перевірки та рух транспорту; політичних або адміністративних обмежень.

Для оцінки ймовірності затримки на кордоні наведена наступна формула:

$$P_з = \frac{C_{чер} + C_{пог} + C_{обм}}{3},$$

де $C_{чер}$ — коефіцієнт, що враховує ймовірність утворення черги; $C_{пог}$ — коефіцієнт, що враховує вплив погодних умов; $C_{обм}$ — коефіцієнт, що враховує ймовірність введення обмежень.

Для мінімізації затримок слід планувати маршрути та обирати пункти пропуску з меншими чергами та швидшими процедурами перевірки на основі моніторингу ситуації з використанням онлайн-сервісів для відстеження стану черг та погодних умов. Важливим є забезпечення пасажирів актуальною інформацією про можливі затримки та альтернативні маршрути. Співпраця з митними та прикордонними службами також сприяє оперативному вирішенню можливих проблем.

Аналіз логістичного аспекту міжнародних автобусних перевезень дозволяє зробити висновок, що ефективність транспортного процесу визначається не лише технічними характеристиками автобусів, а й рівнем інтеграції логістичних підсистем: сервісної, транспортної, інформаційної та інфраструктурної. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку цифрових моделей оптимізації міжнародних пасажирських маршрутів.

Список використаних джерел

1. Макарова Т.В., Кашканов В.А., Каспрук Н.Ю. Аналіз впливу туризму на розвиток пасажирських перевезень. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» : матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції, 21-23 жовтня 2024 року. Житомир. Житомирська політехніка, 2024. С. 145-147.

2. Bowersox D., Closs D. *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process.* McGraw-Hill, 2010.

3. Мішенін Є. В., Губа О. В. Логістичне забезпечення транспортних систем. Харків: ХНУМГ, 2020.

4. Григор'єв О. В. *Транспортна логістика.* Київ: Центр учбової літератури, 2018.

Макарова Тамара Володимирівна **–** к.е.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tomamakarova@ukr.net.

Степанківська Олена Олегівна – здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Makarova Tamara V. – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tomamakarova@ukr.net.

Stepankivska Olena O. – a student of the second (master's) level of higher education at the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

УДК 629.113.004

І.А. Мармут

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛЯ НА ІНЕРЦІЙНОМУ РОЛИКОВОМУ СТЕНДІ

При випробуваннях гальмівних систем на інерційному стенді пропонується оцінювати їх стан за показником уповільнення та показником спрацьовування. Потім за цими параметрами розраховують стандартні показники. Це дозволяє спростити вимірювальну систему інерційного роликового стенду.

Ключові слова: *інерційний роликовий стенд, уповільнення, спрацьовування, вимірювальна система.*

When testing brake systems on an inertial stand, it is proposed to assess their condition by the deceleration rate and the response rate. Then, standard indicators are calculated based on these parameters. This allows simplifying the measuring system of the inertial roller stand.

Keywords: *inertial roller stand, deceleration, operation, measuring system.*

Вступ. Одним із важливих елементів вимірювальної системи (ВС) інерційного роликового стенду є первинний датчик, від якого залежать метрологічні властивості системи та елементи обробки сигналу. В якості датчика первинних сигналів пропонується використовувати диск з прорізами (обтюратор) і імпульсний фотоелектричний датчик (рис 1).

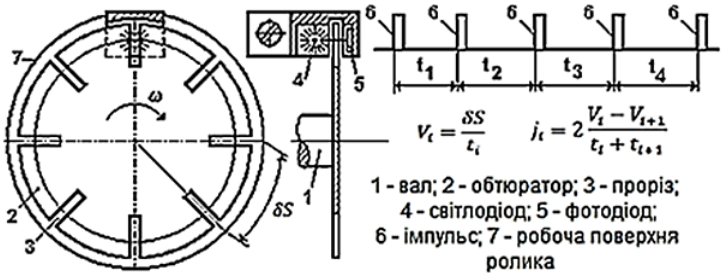


Рисунок 1 – Імпульсно-цифрова ВС роликового стенда ПДС-Л для вимірювання кутової швидкості та прискорення (уповільнення) з фотодатчиком [1]

Спосіб вимірювання уповільнення на інерційному роликовому стенді. Уповільнення ($j_i^{\text{с}}$) i-го колеса (надалі стендове уповільнення) – це середня величина уповільнення за час гальмування. Для контролю його величини пропонується наступне. Для кожної осі певної марки автомобіля вибирається стабільна ділянка гальмівної діаграми (характеризується сталістю уповільнення), якій відповідає певний діапазон швидкостей ($V_2 - V_3$).

Надалі вважатимемо, що всередині обраного діапазону уповільнення постійно. Тоді його величину, м/с ^{2}, можна визначити за формулою

$$j_i^{\text{с}} = \frac{V_2 - V_3}{3{,}6\Delta t_i}, \qquad (1)$$

де Δt_i – час зміни швидкості ролика при гальмуванні від V_2 до V_3, с.

Умовимося називати час зміни швидкості – показником уповільнення i-го колеса (ПУ_i): $\Delta t_i = \text{ПУ}_i$.

Аналіз великої кількості гальмівних діаграм, отриманих під час масових перевірок легкових автомобілів, показав, що доцільно приймати $V_2 = 27$ км/год, а $V_3 = 6$ км/год. Таким чином, за допомогою задатчика гальмування з високою точністю встановлюються значення швидкостей V_2 і V_3, а в ході діагностування фіксується величина ПУ_i електронним секундоміром ВС. За допомогою спеціального генератора заповнюються проміжки між прорізами обтюратора (опорні імпульси). При досягненні кількості імпульсів між двома сусідніми прорізами, що відповідає початковій установці швидкості V_2 включається електронний секундомір. При падінні швидкості до кінцевого значення V_3 (йому відповідає своє число імпульсів) секундомір

вимикається.

З урахуванням прийнятих чисельних значень V_2 і V_3 формула (1) набуде вигляду:

$$j_i{}^{\text{с}} = 5{,}833/\text{ПУ}_i. \quad (2)$$

Для постановки діагнозу "придатний – не придатний" можна попередньо розрахувати таблицю нормативних значень ($\text{ПУ}_{i\text{н}}$) для всієї гами автомобілів, що перевіряються (окремо для передньої і задньої осі). В цьому випадку умова працездатності гальмівної системи виразиться наступним чином: $\text{ПУ}_{i\text{ф}} \leq \text{ПУ}_{i\text{н}}$ ($\text{ПУ}_{i\text{ф}}$ – фактичне значення показника уповільнення i-го колеса).

Спосіб вимірювання часу спрацьовування на інерційному роликовому стенді. Для характеристики часу спрацьовування пропонується заміряти різницю часу проходження одного прорізу обтюратора при швидкості, що дорівнює V_0 і через нормативний період часу спрацьовування $\tau_{\text{с}}$ (за ДСТУ 3649:2010 – $\tau_{\text{с}} = 0{,}5$ с). Якщо гальмівна система справна, через проміжок часу $\tau_{\text{с}}$ досягається величина нормативного уповільнення. Умовимося оцінювати його за величиною показника спрацьовування (ПС). Тоді, у загальному вигляді, ПС визначається за формулою

$$\text{ПС} = \left|\frac{\Delta S}{V_{0,5}} - \frac{\Delta S}{V_0}\right|, \quad (3)$$

де ΔS – шлях, пройдений при повороті ролика на один проріз обтюратора, м; $V_{0,5}$ – миттєва швидкість через 0,5 с після початку гальмування, м/с; V_0 – початкова швидкість гальмування, м/с.

Шлях, пройдений при повороті ролика на один проріз обтюратора, дорівнює:

$$\Delta S = \frac{\pi \cdot D}{z}, \quad (4)$$

де D – діаметр ролика, м; z – число прорізів обтюратора.

Для конкретної конструкції стенда значення формули (3) є постійними величинами. Таким чином, розраховуються нормативні значення $\text{ПС}_{i\text{н}}$ для кожної осі за марками автомобілів. Умова працездатності гальмівної системи за часом спрацьовування виразиться так: $\text{ПС}_{i\text{ф}} \geq \text{ПС}_{i\text{н}}$ ($\text{ПС}_{i\text{ф}}$ – фактичне значення показника спрацьовування i-го колеса). Вимірювальна система реєструє значення $\text{ПС}_{i\text{ф}}$ в такий спосіб. Через 0,5 с після початку гальмування вимірюється миттєва швидкість $V_{0,5}$ та обчислюється за формулою (3) значення $\text{ПС}_{i\text{ф}}$, яке виводиться на відповідний індикатор.

Методика метрологічного контролю каналу вимірювання ПС. ПС за визначенням – це різниця між двома інтервалами часу $t_{\text{поч}}$ і $t_{\text{кін}} = t_2$. Перший з інтервалів – це період частоти проходження прорізу обтюратора у момент початку гальмування. Він формується ВС при досягненні окружної швидкості роликів одного із значень, що вибирається оператором: 50, 60, 70 або 80 км/год. Другий інтервал (t_2) вимірюється засобами ВС через 0,5 с після початку гальмування.

Процедура метрологічного контролю ПС, таким чином, повинна забезпечити метрологічно достовірну імітацію сигналів, формованих фотодатчиками в процесі вимірювання ПС. Метрологічна достовірність імітації може бути забезпечена при виконанні наступних умов:

а) значення початкової частоти імпульсів повинно відповідати одному із значень лінійної швидкості, при якій включається «пневмонога» – пристрій для натискання на гальмівну педаль;

б) період проходження імпульсів фотодатчика $t_{\text{поч}}$ або імпульсного сигналу, що імітує сигнали фотодатчика, повинен бути відомий наперед, або зміряний у момент початку гальмування зовнішніми вимірювальними приладами;

в) за час, що не перевищує 0,5с – період проходження імпульсного сигналу, що імітує роботу фотодатчиків, повинен змінитися до величини $t_{\text{кін}}$ і бути відомим з метрологічною точністю;

г) процес метрологічного контролю ПС повинен адекватно імітувати роботу стенду і його вимірювальної системи не тільки в статичному, але і динамічному режимах.

На підставі вищевикладеного процес метрологічного контролю (МК) каналу вимірювання ПС розбивається на декілька стадій, а саме:

МК каналу включення гальма;

МК каналу формування затримки вимірника ПС (каналу, що формує затримку 0,5с);

МК каналу вимірювання величини $t_{\text{кін}}$ і обчислення ПС у вигляді $(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}})$ (слід врахувати, що у фізично реальній системі завжди $t_{\text{кін}} \geq t_{\text{поч}}$).

Для реалізації МК каналу вимірювання ПС необхідно зібрати перевірочну схему, представлену на рис. 2.

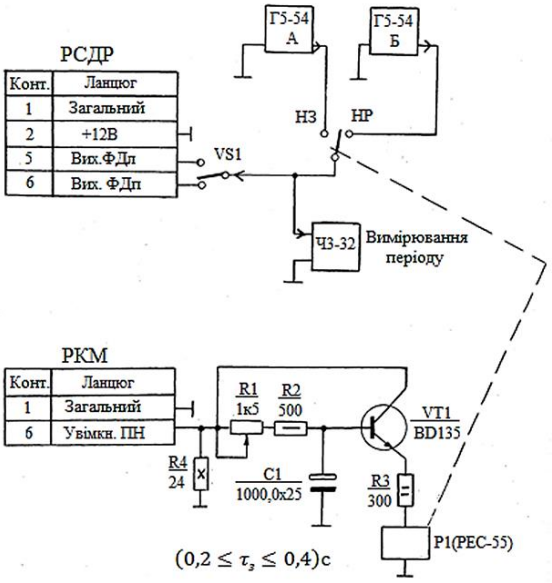


Рисунок 2 – Схема метрологічного контролю каналу ПС [2]

Метрологічний контроль каналу вимірювання швидкості включення пристрою натискання на педаль гальма («пневмоноги»). Встановити на генераторі «А» значення частоти вихідного сигналу, рівне 1,05 значення частоти імпульсів обтюратора, відповідної вибраної швидкості початку гальмування.

Амплітуда імпульсу повинна складати 10 В; полярність позитивна; тривалість імпульсу:

$$\tau_{\text{і}} = (0{,}8 \ldots 1{,}5)\tau_{i.\text{обт.розр.}}, \quad (5)$$

де $\tau_{i.\text{обт.розр.}}$ – розрахункова тривалість імпульсу фотодатчика для вибраної швидкості початку гальмування.

Плавно зменшувати частоту сигналу генератора «А» до моменту включення «пневмоноги». Виконати це для всіх значень початкових швидкостей гальмування.

Для кожного із значень початкової швидкості гальмування розрахувати величини:

$$T_{\text{вим.сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} T_{\text{вим}_i}}{N}; \quad (6)$$

$$\Delta\bar{T} = (T_{\text{розр.}} - T_{\text{вим}})_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (\text{T}_{\text{р}} - T_{\text{вим}_i})}{N}. \quad (7)$$

Величина $\Delta\bar{T}$ характеризує систематичну похибку каналу включення у вигляді величини, що описує відхилення значення періоду прорізу обтюратора від розрахункового значення для кожної з вибраної швидкості гальмування.

Випадкова складова похибки в цьому випадку містить дві складові: апаратну і методичну, причому зміряти або оцінити їх по окремості не представляється можливим. Тому оцінку значення випадкової складової похибки каналу включення гальмування проводити по величині СКВ:

$$\sigma_{\Delta T} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left\{ \left(T_{\text{р}} - T_{\text{вим}_i} \right) - \Delta\bar{T} \right\}^2}{N-1}}. \quad (8)$$

Прийняти рішення про придатність до експлуатації каналу включення гальмування. Критерії придатності:

$$\frac{\Delta\bar{T}}{T_{\text{р}}} \le 0{,}01; \qquad \frac{\sigma_{\Delta T}}{T_{\text{р}}} \le 0{,}05. \tag{9}$$

Метрологічний контроль каналу формування затримки 0,5 с (при вимірюванні показника спрацьовування). Процес МК по цьому пункту полягає у вимірюванні величини затримки, яка повинна мати значення: $t_{\text{З}} = [(0{,}500) \pm 0{,}002] \cdot 10^{-3}$с.

Ухвалити рішення про придатність каналу до експлуатації по цьому критерію.

Метрологічний контроль каналу вимірювання величини і обчислення ПС. Виконується у вигляді $(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}})$.

Встановити на генераторі «А» значення однієї з частот, відповідної вибраної початкової швидкості гальмування.

Встановити на генераторі «Б» вибране значення частоти, що забезпечує виконання умови $0{,}00014 \le \left(\frac{1}{f_{\text{Б}}} - \frac{1}{f_{\text{А}}}\right) \le 0{,}003880$.

Плавно зменшуючи значення частоти генератора «А» добитися включення каналу гальмування і записати показання приладу ЧЗ і вимірювальної системи після зупинки процесу рахунку.

Розрахувати для кожного значення початкової швидкості гальмування абсолютні і відносні похибки, систематичну і випадкову складові: $\Delta_{\text{с}}(\text{ПС})$, $\sigma(\text{ПС})$. Формули для розрахунку метрологічних характеристик каналу вимірювання ПС:

$$\delta(\text{ПС})_i = \frac{\Delta\text{ПС}_i}{\text{ПС}_{\text{ЧЗ}-32}}; \tag{10}$$

$$\Delta(\text{ПС}) = (\text{ПС}_{\text{ЧЗ}-32} - \text{ПС}_{\text{ВС}}); \tag{11}$$

$$\bar{\delta}(\text{ПС}) = \frac{\sum_{i=1}^{N} \delta_i(\text{ПС})}{N}; \tag{12}$$

$$\sigma(\text{ПС}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left\{\delta(\text{ПС}) - \bar{\delta}(\text{ПС})_i\right\}^2}{N-1}}; \tag{13}$$

$$\delta_{\sigma}(\text{ПС}) = \frac{\sigma(\text{ПС})}{\text{ПС}_{\text{ЧЗ}-32}}. \tag{14}$$

Прийняти рішення про придатність до експлуатації каналу вимірювання ПС. Критерії придатності:

$$|\Delta(\text{ПС})| \le 5 \cdot 10^{-6} \text{ с}; \qquad \sigma(\text{ПС}) \le 3 \cdot 10^{-6}. \tag{15}$$

Висновок. Запропонована методика реєстрації параметрів стану гальмівної системи на роликовому стенді дозволяє за допомогою одного первинного датчика швидкості оцінювати ефективність робочої гальмівної системи відповідно до вимог стандарту.

Список використаних джерел

1. Говорущенко М.Я., Волков В.П., Рабінович Е.Х., Мармут І.А., Зуєв В.О. (2009). Роликові стенди для перевірки гальмівних та тягових властивостей автомобілів (теорія, розрахунок та конструювання): монографія. Харків: ХНАДУ, 344 с.

2. Мармут, І., & Шестов, С. (2025). Удосконалення методики перевірки каналів вимірювання гальмівних параметрів автомобілів на інерційному роликовому стенді. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 1(24), 273-283. https://doi.org/10.36910/automash.v1i24.1733.

3. Володарський Є.Т., Потоцький І.О. (2019). Забезпечення метрологічної надійності вимірювань. Вимірювальна техніка та метрологія, 80(3), 5-9. https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.005.

Мармут Ігор Арнольдович – к.т.н., доцент, доцент інжинірингу систем автомобільного транспорту ім. М.Я Говорущенка, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, e-mail: mia2005.62@ukr.net.

Marmut Ihor Arnoldovich – Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of motor vehicle transport systems engineering named after M.Ya. Govorushchenko, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: mia2005.62@ukr.net.

УДК 629.113

М.М. Маяк, І.С. Мурований, А.С. Котенко

МАНЕВРЕНІСТЬ ДВОЛАНКОВОГО ПРИЧІПНОГО АВТОБУСНОГО ПОЇЗДА

Розглянуто кінематику повороту автобусного поїзда із двох автобусів А 140.Показано, що при односторонньому повороті траєкторія другого автобуса по відношенню до першого зміщується до центру повороту, збільшуючи при цьому габаритну смугу руху. При цьому нормоване значення габаритної смуги руху за реальних конструктивних параметрів автобусів може забезпечити автобусний поїзд, що розглядається

Наявність у складі автобусного поїзда керованого другого автобуса показує на досить складні залежності кутів складання ланок від кута повороту керованих коліс першого автобуса, проте незалежно від обраного задаючого параметра на кут повороту коліс другого автобуса передаточне відношення приводу управління змінюється за лінійним законом, який досить просто можна реалізувати в конструкції приводу управління, наприклад, при використанні прямого керуючого зв'язку.

Ключові слова: *автобусний поїзд, траєкторія, зміщення траєкторії, кінематика повороту, передаточне відношення приводу управління, габаритна смуга руху.*

The kinematics of turning a bus train consisting of two A 140 buses are considered. It is shown that during a one-way turn, the trajectory of the second bus relative to the first is shifted to the center of the turn, increasing the clearance. At the same time, the normalized value of the clearance for real design parameters of buses can be provided by the bus train under consideration. The presence of a second controlled bus in the bus train indicates a rather complex dependence of the angles of assembly of the links on the angle of rotation of the steered wheels of the first bus, however, regardless of the selected setting parameter for the angle of rotation of the wheels of the second bus, the gear ratio of the control drive changes according to a linear law, which can be implemented quite simply in the design of the control drive, for example, when using a direct control connection.

Keywords: *bus train, trajectory, trajectory shift, kinematics of turning, gear ratio of the control drive, clearance.*

Автобусобудування, як частина загального автомобілебудування, має свою характерну особливість: незважаючи на те, що загальний випуск автобусів складає лише одиниці відсотків від загального випуску автомобільної техніки, їх виробництво здійснюється на значно більшій кількості підприємств, чим легкових і навіть вантажних автомобілів, дуже часто обмеженими партіями.

Обмеження повної маси і навантажень на окремі осі автобуса обумовлено чинним законодавством, що діє у різних країнах. Ці обмеження ставлять перед конструкторами необхідність конкретного вибору: задовольнити чинному законодавству в частині навантаження шляхом обмеження місткості або зниженням розмірності (довжини) автобуса, або за рахунок планування салону, тобто співвідношення числа місць для сидіння та стояння. І конструктори використовують обидві можливості приблизно в однаковій мірі.

Поряд з незаперечними перевагами шарнірно-зчленованих автобусів і тролейбусів з некерованими причіпними ланками їм притаманні і недоліки – гірша маневреність у порівнянні з причіпним автобусним поїздом. Крім того, ефективність експлуатації таких машин тісно пов'язана з пасажиропотоком, який протягом дня може змінюватися в рази. Тому перспективним може стати автопоїзд у складі двох (або трьох) автобусів або тролейбусів, що працюють у зчіпці, пасажиромісткість яких аналогічна зчленованим автобусам і тролейбусам. У години пік працює автобусний поїзд, а у міжпіковий період – кожний автобус окремо (можлива стоянка одного автобуса на виділеному майданчику) [1].

При односторонньому криволінійному русі автопоїзд проходить декілька стадій [2], зокрема стадія початкового прямолінійного руху (перед поворотом), стадія входження в поворот, стадія кругового повороту і стадія виходу з повороту. Положення автопоїзда у будь якій стадії повороту визначається кутами складання ланок автопоїзда і повороту керованих коліс, рис. 1. Рух автобусного поїзда можна описати системою диференціальних рівнянь [3]:

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \omega_0 - \omega_1,$$
$$\frac{d\gamma_2}{dt} = \omega_1 - \omega_2, \qquad (1)$$

де γ_0 – кут повороту керованих коліс першого автобуса;
γ_1, γ_2 – кути складання ланок автопоїзда;
$\omega_0, \omega_1, \omega_2$ – кутові швидкості першого автобуса, дишля і другого автобуса.

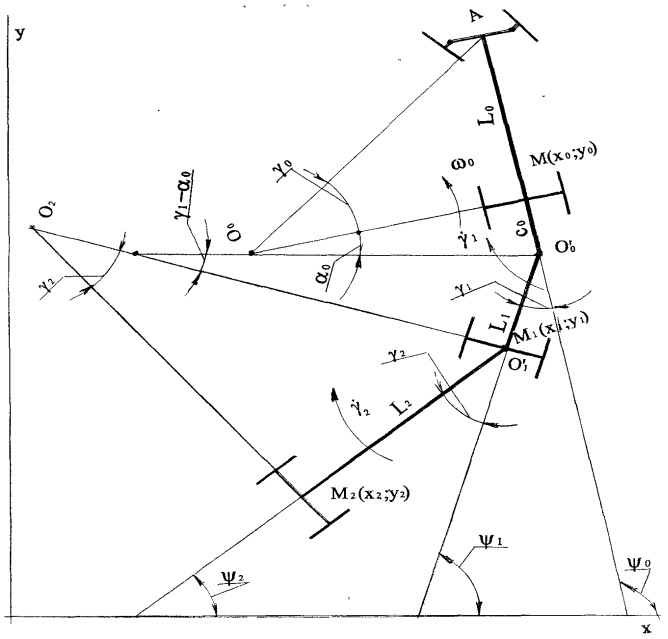


Рисунок 1 - Схема повороту автобусного поїзда

Записана система рівнянь (1) дає можливість отримати значення кутів складання в залежності від конструктивно-геометричних факторів і режиму руху автопоїзда [3]:

$$\frac{d\gamma_1}{d\gamma_0} = \frac{tg(\gamma_0)}{K_{\Pi} \cdot L_1} \cdot \left(1 - \frac{L_1}{tg(\gamma_0)} \cdot \frac{\left(\sin\gamma_1 - \frac{c_0 \cdot tg(\gamma_0)}{L_1} \cdot \cos\gamma_1 \right)}{L_2} \right), \qquad (2)$$

$$\frac{d\gamma_2}{d\gamma_0} = \frac{\left(\sin\gamma_1 - \frac{c_0 \cdot tg(\gamma_0)}{L_1} \cdot \cos\gamma_1 \right)}{K_{\Pi} \cdot L_2} - \frac{\left(\cos(\gamma_1) + \frac{c_0 \cdot tg(\gamma_0)}{L_1} \cdot \sin(\gamma_1) \right)}{K_{\Pi} \cdot \cos\left(\frac{\gamma_2}{i_1} - \gamma_2 \right)} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\gamma_2}{i_1} \right)}{L_2}, \qquad (3)$$

де c_0 – відстань від задньої осі першого автобуса до точки зчіпки з другим автобусом;
L_1, L_2 – база першого і другого автобуса;
i_1 – передаточне відношення приводу управління другим автобусом;

$K_{\text{п}}$ – режимний коефіцієнт повороту, $K_{\Pi} = \frac{\dot{\gamma}_0}{v_0}$;

v_0 – швидкість першого автобуса.

Оскільки в загальному випадку під час виконання повороту автопоїзд проходить чотири стадії (входження в поворот, рух по колу, вихід з повороту, прямолінійний рух до повернення всіх параметрів початковий стан), то рівняння (2) і (3) можна застосувати лише для першої стадії виконання повороту. Для інших стадій повороту необхідно приймати свої обмеження.

Положення другого автобуса відносно першого буде визначатися кутами складання ланок автопоїзда, які у загальному випадку отримати не представляється можливим, а також передаточним відношенням приводу управління другого автобуса. Тому розглянемо коловий рух автопоїзда, для якого кути складання і кут повороту керованої осі другого автобуса визначаються геометричними параметрами ланок і задаючим параметром – кутом повороту керованих коліс першого автобуса. Для цього випадку отримаємо:

$$\gamma_1 = \arcsin\frac{L_1^2 + c_0^2 - b^2}{2L_1 \times \sqrt{L_1^2 ctg^2\gamma_0 + c_1^2}} - arctg\frac{c_0}{L_2 ctg\gamma_0}, \quad \gamma_2 = \arcsin\frac{L_1^2 - c_0^2 + b^2}{2L_1 \times \sqrt{L_2^2 ctg^2\gamma_0 + b^2}} + arctg\frac{b}{L_2 ctg\gamma_0},$$

$$\theta_1 = arctg\frac{L_1}{L_2 ctg\theta_0}, \quad \theta_2 = arctg\frac{L_2}{L_1 ctg\theta_1}, \tag{4}$$

де θ_1 і θ_2 – кути повороту керованих коліс першого і другого автобусів;

b – відстань від центру мас першого автобуса до його задньої осі.

Якщо представити, що кожен з етапів криволінійного руху автобусного поїзда являє собою коловий рух певного радіуса, то кут повороту керованих коліс першого автобуса визначиться як [4]

$$\theta_0 = \begin{cases} 0 & при\ \ 0 < t \le t_0 \\ \beta t & при\ \ t_0 < t \le t_1 \\ \theta_{0\max} & при\ \ t_1 \le t \le t_2 \\ -\beta t & при\ \ t_2 < t \le t_3 \\ 0 & при\ \ t > t_2 \end{cases}, \tag{5}$$

де [0; t_0] і [t_3; t_k] – час руху автопоїзда по прямій відповідно до входу в поворот і після виходу із повороту;

] t_0; t_1] – інтервал часу входження в поворот, керовані колеса першого автобуса рівномірно повертаються зі швидкістю β=0,05 c^{-1};

[t_1 ; t_2] – інтервал часу руху автопоїзда по колу (може бути відсутнім);

] t_2 ; t_3] – інтервал часу виходу автопоїзда із повороту (керовані колеса першого автобуса рівномірно повертаються у нейтральне положення).

Інтегрування системи рівнянь (1) виконано для двох автобусів А-140, рис. 2, що працюють в зчіпці, за таких вихідних даних [5]:

L_1=L_2 =4560 мм; l_1=1700 мм; a=a_1=a_2 =2932 мм; b=b_1=b_2 =1628 мм; c_1=5750 мм.

Результати розрахунків габаритної смуги руху автобусного поїзда при виконанні різних маневрів представлені на рис 3, з якого слідує, що автопоїзд із двох автобусів А 140 задовольняє вимогам нормативних документів щодо маневреності.

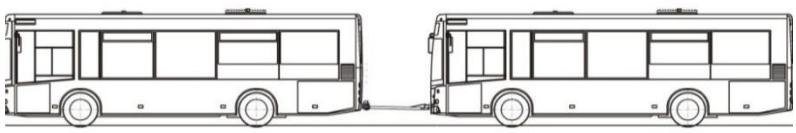
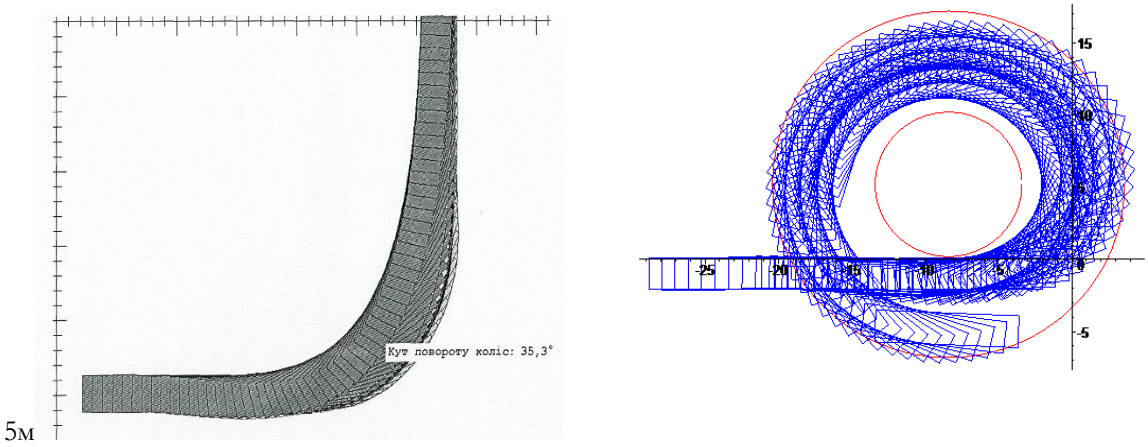


Рисунок 2 - Конструктивна схема автобусного поїзда



а) б)

Рисунок 3 - Габаритна смуга руху автопоїзда при повороті на 90^0 (а) і коловому русі (б)

Висновки. Показано, що при односторонньому повороті траєкторія другого автобуса по відношенню до першого зміщується до центру повороту, збільшуючи при цьому габаритну смугу руху. При цьому нормоване значення габаритної смуги руху за реальних конструктивних параметрів автобусів може забезпечити автобусний поїзд, що розглядається

Список використаних джерел

1. В.П. Сахно, В.М. Поляков, С.М. Шарай, І.С. Мурований. До визначення керованості і стійкості руху причіпного пасажирського автопоїзда// Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2022.– №2(19).– С.191-202

2. Шарнірно-зчленовані автобуси. Маневреність та стійкість: монографія //В.П. Сахно, В.М. Поляков, С.М. Шарай, І.С. Мурований, О.Є. Омельницький. – Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2021. - 288 с. ISBN 978-617-672-243-4.

3. В.М. Поляков, В.П. Сахно. Триланкові Автопоїзди. Маневреність. Київ. Національний Транспортний Університет. 2013. – 200 С.: Іл.

4. Vladimir Sakhno, Igor Murovany, Svitlana Sharai, Vadim Seleznev. Comparative evalution of maneurability of large and extra large class buses //Mobile machines. International scentific conference, Kaunas, Lithuania. Aleksandras Stulginskis University, 2017, p. 38-47.

5. Автобус міський А 140 //https://isuzu.com.ua/buses/a140#

Маяк Микола Михайлович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: mayak@lutsk-ntu.com.ua

Мурований Ігор Сергійович **–** к.т.н., доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Котенко Андрій Степанович **–** аспірант кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: kotenko.a0015@lntu.edu.ua.

Maiak Mykola M., **–** Doctor of Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies,Lutsk National Technical University, e-mail: mayak@lutsk-ntu.com.ua

Murovanyi Igor S., PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Kotenko Andrii S., – Second-year graduate student Department of Automobiles and Transport Technologies Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine e-mail: kotenko.a0015@lntu.edu.ua.

UDK 662.758.2

V. Melnyk

FEASIBILITY STUDY OF THE EFFICIENCY OF USING BIOGAS FUEL WITH COMMODITY GASOLINE

The authors conducted a study of the economic efficiency of using biogas fuel in a mixture with commercial gasoline. According to the results of the conducted studies, the dependence of the change in the price of used commercial gasoline in fuel mixtures was obtained depending on the percentage content of biogas fuel in them.

For the adopted prices for commercial gasoline and biogas, the conducted studies show that with an increase in the percentage content of biogas in the equivalent fuel to 50%, an increase in the economic efficiency of its use is achieved due to the use of low-octane gas and, as a result, the cost of the resulting fuel decreases from 5.8% to 30%.

Keywords: *renewable sources, biogas, fuel, economy, efficiency, use.*

Internal combustion engines (ICEs) are used in various fields for various purposes. ICEs mainly operate on hydrocarbon fuels.

The use of fossil fuels as an energy source has a negative impact on the environment [1].

To reduce the use of fossil fuels, ICEs are being converted to alternative fuels such as biogas and biofuels.

Biogas is one of the most promising fuels for ICEs. Biogas is produced by the decomposition of organic matter in the absence of oxygen, and this biogas is a renewable energy source [2].

The chemical composition of raw biogas is as follows: methane (CH4) makes up 50-75% of the mixture, carbon dioxide ranges from 25 to 50% (CO2), water vapor in the range of 5-6% and nitrogen in the range of 12-15% [3].

Biogas has many advantages compared to both fossil fuels and other fuels derived from biomass. Biogas technology plays a significant role in generating energy from organic materials and bringing waste materials into the soil, and after their formation, the waste does not disappear, but is converted into a much more valuable organic fertilizer [19, 20].

In addition, it has advantages such as ease of transportation in pipelines, safe storage as a compressed gas in high-pressure cylinders without diluting the lubricant, and fewer harmful exhaust emissions to the environment.

Biogas also reduces the possibility of detonation due to its high autoignition temperature [21, 22].

The economic efficiency of using biogas in a seventh-generation LPG system when it is partially fed into an internal combustion engine with commercial gasoline is affected by the financial costs of fuel, because other costs (for oil, depreciation, etc.), both when the car is operating on commercial gasoline and when combining gasoline with biogas, will be practically the same.

To calculate the economic efficiency of using biogas in an Audi A6 engine, we will construct a graphical dependence of the change in the price of commercial gasoline on the OCH. Based on the retail prices for gasoline at the time of the calculations, the cost of one liter depending on the OCH was at OCH not less than 92 - 56.99 UAH/l, at OCH not less than 95 - 58.69 UAH/l, and at OCH not less than 98 - 60.99 UAH/l, which is shown graphically in Fig. 1.

To assess the economic efficiency of using fuel mixtures of gasoline and biogas, the dependence of the change in the price of used gasoline on the biogas content was calculated according to the method [23] (Fig. 2).

So, for the adopted prices for gasoline and biogas and based on the calculations performed, it follows that with an increase in the biogas content in the gasoline and biogas supply system, an increase in the economic efficiency of their use is achieved due to the use of gasoline with a low OCR.

When using biogas together with gasoline with a low OCR in an amount of up to 50%, it is possible to achieve a reduction in the cost of gasoline per liter to 7.5 UAH.

Such an effect, when using biogas together with gasoline, indicates the prospects of this direction of using biogas fuel and the feasibility of further research in this direction.

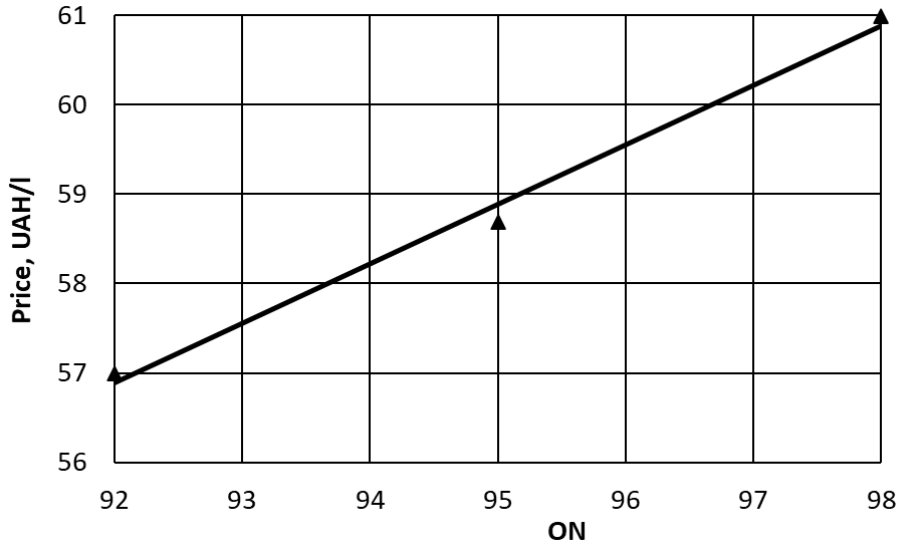


Figure 1 – Dependence of the change in the price of commercial gasoline depending on the ON

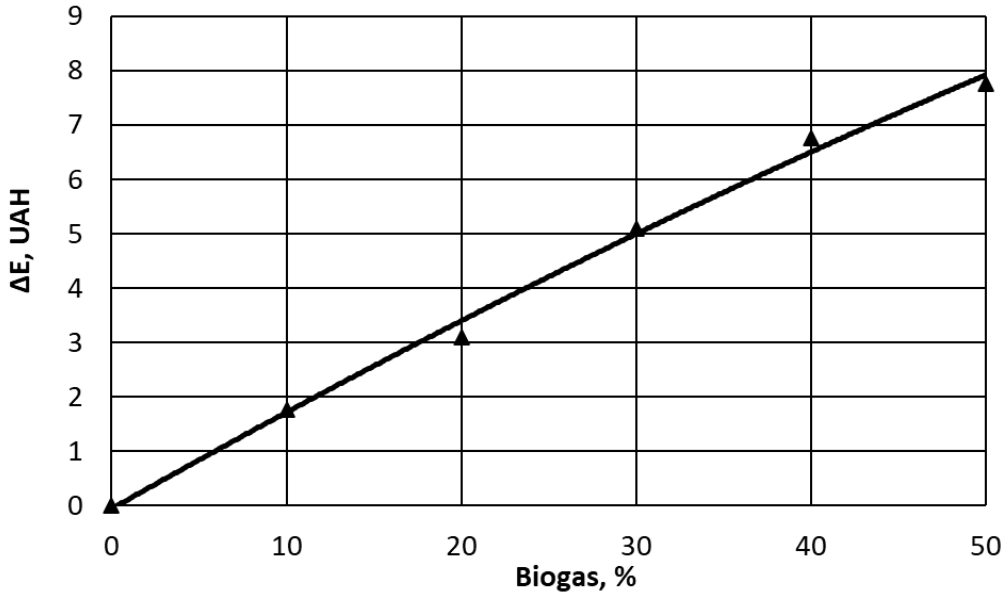


Figure 2 – Dependence of the efficiency of using equivalent fuels based on commercial gasoline on the biogas content in them

List of references

1. J. Gelegenis et al. Optimization of biogas production by codigesting whey with diluted poultry manure, Renewable Energy, (2007), P. 35-38.

2. V. Katinas et al. Analysis of biodegradable waste use for energy generation in Lithuania Renewable and Sustainable Energy Reviews, (2019), P. 121-135/

3. P.K. Nutakki et al. Mulugundam Sivasurya. “Effect Of n-Amyl Alco-hol/Biodiesel Blended Nano Additives on the Performance, Combustion and Emis-sion Characteristics of CRDI Diesel Engine”, Research Square, (2021), P. 45-54.

4. N. Narayanaswamy, C. Ramesh, N. Bharath. Experimental study on the effect of biogas diesel engines driven by silkworm larval litter, cyperus rotundus and cattle urine, Journal home page for Materials Today: Proceedings, Volume 47, Part 14, 2021, P. 4617-4623.

5. Simsek S., Uslu S. (2020) Determination of a diesel engine operating parameters powered with canola, safflower and waste vegetable oil based biodiesel combination using response surface methodology (RSM), Fuel 270, 117496.

6. Mujtaba M.A., Kalam M.A., Masjuki H.H., Gul M., Soudagar M.E.M., Ong H.C., Ahmed W., Atabani A.E., Razzaq L., Yusoff M. (2020) Comparative study of nanoparticles and alcoholic fuel additives-biodiesel-diesel blend for performance and emission improvements, Fuel 279, 118434.

7. Zhen X., Wang Y., Liu D. (2020) Bio-butanol as a new generation of clean alternative fuel for SI (spark ignition) and CI (compression ignition) engines, Renew. Energy 147, 1, 2494–2521.

8. Yesilyurt M.K., Aydin M. (2020) Experimental investigation on the performance, combustion and exhaust emission characteristics of a compression-ignition engine fueled with cottonseed oil biodiesel/diethyl ether/diesel fuel blends, Energy Conv. Manage. 205, 112355.

9. Sun C.S., Liu Y., Qiao X., Ju D., Tang Q., Fang X., Zhou F. (2020) Experimental study of effects of exhaust gas recirculation on combustion, performance, and emissions of DMEbiodiesel fueled engine, Energy 197, 1172333.

10. Simsek S., Uslu S., Cos tu R. (2021) A novel approach to study the effect of motor silk-added pyrolysis tire oil on performance and emission characteristics of a diesel engine, Fuel 288, 119668.

11. Jagtap S.P., Pawar A.N., Lahane S. (2020) Improving the usability of biodiesel blend in low heat rejection diesel engine through combustion, performance and emission analysis, Renew. Energy 155, 628–644.

12. Fayad M.A., Tsolakis A., Martos F.J. (2020) Influence of alternative fuels on combustion and characteristics of particulate matter morphology in a compression ignition diesel engine, Renew. Energy 149, 962–969.

13. Vohra K., Vodonos A., Schwartz J., Marais E.A., Sulprizio M.P., Mickley L.J. (2021) Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem, Environ. Res. 195, 110754.

14. Xiao H., Guo F., Wang R., Yang X., Li S., Ruan J. (2020) Combustion performance and emission characteristics of diesel engine fueled with iso-butanol/biodiesel blends, Fuel 268, 117387.

15. Simsek S., Uslu S. (2020) Investigation of the effects of biodiesel/2-ethylhexyl nitrate (EHN) fuel blends on diesel engine performance and emissions by response surface methodology (RSM), Fuel 275, 118005.

16. Yılmaz E. (2019) Investigation of the effects of diesel-fusel oil fuel blends on combustion, engine performance and exhaust emissions in a single cylinder compression ignition engine, Fuel 255, 115741.

17. Li Y., Liu H., Yan F., Su D., Wang Y., Zhou H. (2017) Highcalorific biogas production from anaerobic digestion of food waste using a two-phase pressurized biofilm (TPPB) system, Bioresour. Technol. 224, 56–62.

18. Ruiz J.A., Juarez M.C., Morales M.P., Munoz P., Mendivil M.A. (2013) Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers, Renew. Sustain. Energy Rev. 18, 174–183.

19. Diamantis V., Eftaxias A., Stamatelatou K., Noutsopoulos C., Vlachokostas C., Aivasidis A. (2021) Bioenergy in the era of circular economy: Anaerobic digestion technological solutions to produce biogas from lipid-rich wastes, Renew. Energy 168, 438–447.

20. Tallou A., Salcedo F.P., Haouas A., Jamali M.Y., Atif K., Aziz F., Amir S. (2020) Assessment of biogas and biofertilizer produced from anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with municipal wastewater and cow dung, Environ. Technol. Innov. 20, 101152.

21. Tippayawong N., Thanompongchart P. (2010) Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO2 and H2S in a packed column reactor, Energy 35, 12, 4531–4535.

22. Porpatham E., Ramesh A., Nagalingam B. (2013) Effect of swirl on the performance and combustion of a biogas fuelled spark ignition engine, Energy Conv. Manage. 76, 463–471.

23. Gutarevich Yu.F., Govorun A.G., Korpach A.O., Moroz O.G. Evaluation of the effectiveness of adding alcohol compounds to gasoline. Highways of Ukraine. - 2004. - No. 3. - P. 17-19.

Vasyl Melnyk - candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Automobile Transport, Institute of Engineering Mechanics and Robotics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

Мельник Василь Миколайович – к.т.н, доцент кафедри автомобільного транспорту, Інститут інженерної механіки та робототехніки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

UDK 504.06:662.756.3

V. Melnyk

STUDY OF THE SPECIFIC EFFECTIVE FUEL CONSUMPTION OF THE PEUGEOT 3008 1.5 L BLUEHDI ENGINE IN THE PROCESS OF USING ALCOHOL-BASED FUEL ADDITIVES

The problem of fuel economy and environmental protection can be solved by the widespread introduction of alternative fuels for internal combustion engines.

When using ethanol and methanol for the Peugeot 3008 engine, the specific effective fuel consumption, according to research results, increases by an average of 2.3 times for ethanol, and by 4.2 times when using methanol.

Thus, as oil prices increase along with the rapid accumulation of greenhouse gas emissions and strict legislative regulations on emissions, to solve these problems it is necessary to offer new, renewable and environmentally friendly fuels instead of traditional ones

Keywords: *car, performance, fuel consumption, alcohols, efficiency.*

The issues of using alternative fuels, biofuel blends for diesel engines and optimizing the composition of alternative diesel fuel are considered in the works of N. Vnukova, V. Barun, M. Balat, P. Bielaczyc and others [1-7].

Studies [8-14] indicate changes in the emission parameters of hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO2) and nitrogen oxide (NOx), as well as combustion characteristics when using alcohol fuel in SI engines.

Alcohols used as alternative fuels in SI engines are methanol, ethanol, propanol and butanol. The advantages of alcohols, which are alternative fuels, can be listed as follows: alcohols can replace fuel from crude oil; countries that do not have reserves of crude oil can meet their energy needs without being dependent on oil; alcohol production (especially ethanol) can be a good source of income for farmers in countries with extensive agricultural potential; alcohols have a high octane number, which increases the detonation resistance of the fuel. In this case, engine performance can be increased by increasing the compression ratio in the engines [9-12].

An important indicator of the performance of any internal combustion engine is the specific effective fuel consumption. The effective specific fuel consumption can be determined by the formula [2, 3]:

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e}, \quad \frac{g}{kW \cdot h}. \tag{1}$$

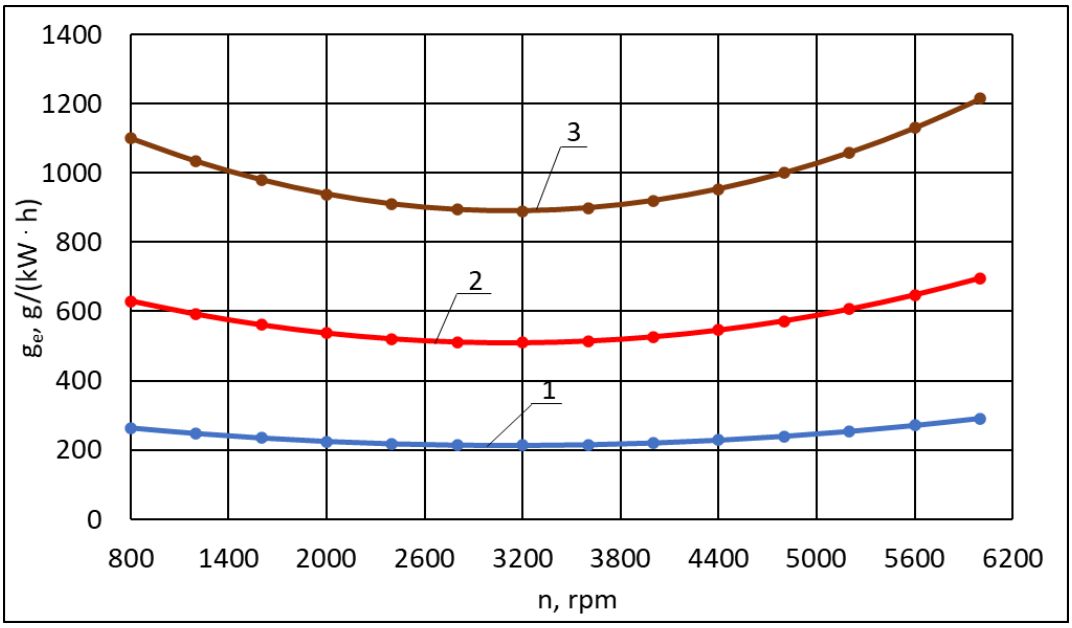
where H_u – lower calorific value of fuel;
η_e – effective efficiency.

For research we will use fuel based on ethanol, methanol and gasoline A-95 Table 1.

Table 1 – Brief characteristics of fuel for internal combustion engines

Parameter name	Value		
	Ethanol	Methanol	Gasoline A-95
Density, kg/m^3	789,3	791,8	720-775
Boiling point, ^{0}C	78,29	64,7	33
Flash point, ^{0}C	13	6	30
Autoignition point, ^{0}C	363	440	255
Saturated vapor pressure, кPa	15,9	11,8	45-80
Octane number	99	108	95
Lower heat of combustion, MJ	26,94	21,5	43,5
Composition: C	0,522	0,375	0,855
H	0,132	0,125	0,145
O	0,346	0,5	-

For the Peugeot 3008 engine, the specific effective fuel consumption, according to research results, increases (Fig. 1) by an average of 2.3 times for ethanol, and by 4.2 times when using methanol.



1 – A-95 gasoline; 2 – ethanol; 3 – methanol

Figure 1 – Experimental graphical dependence of specific effective fuel consumption ge when using different types of fuel on the Peugeot 3008 engine

Thus, the following conclusions can be drawn from the conducted studies.

As oil prices are increasing along with the rapid accumulation of greenhouse gas emissions and strict legislative standards on emissions, to solve these problems it is necessary to offer new, renewable and environmentally friendly fuels instead of traditional ones. Due to abundant resources, relatively lower emissions and improved mixing and combustion characteristics, light alcohols, namely methanol and ethanol, have the potential to solve certain problems.

The problem of fuel economy and environmental protection can be solved by the widespread introduction of alternative fuels in internal combustion engines.

List of references

1. Vnukova N. Alternative fuel as a basis for resource conservation and environmental safety of motor transport / N. V. Vnukova, M. V. Barun // Energy conservation. Energy. Energy audit. National Technical University - "Kharkiv Polytechnic Institute". No. 9 (91). – P. 45-55.

2. Balat M, Balat H. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. Applied Energy 2009; 86: 2273–2282. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.015.

3. Bielaczyc P, Woodburn J, Gandyk M, Szczotka A. Ethanol as an automotive fuel – a review. Combustion 2016; 166(3): 39-45. https://doi.org/10.19206/CE-2016-338.

4. Dardiotis C, Fontaras G, Marotta A, Martini G, Manfredi U. Emissions of modern light duty ethanol flex-fuel vehicles over different operating and environmental conditions. Fuel 2015; 140: 531-540. doi: 10.1016/j.fuel.2014.09.085.

5. Jakóbiec J, Marchut A, Jaskólski J. Exhaust emissions of engines fuelled with gasoline with bioethanol. Journal of KONES 2000: 146-153. Polish.

6. Kałużny J. et al. An innovative system for piston engine combustion with laser-induced ignition of the hydrocarbon fuel consisting carbon nanotubes. Combustion Engines 2017; 168(1): 3-14, https://doi.org/10.19206/CE-2017-101.

7. Klimiuk E, Pawłowska M, Pokój T. Biofuels – technologies for sustainable development. PWN Warszawa; 2012. Polish.

8. Leja K, Lewandowicz G, Grajek W. Production of bioethanol from cellulose raw materials. Biotechnologia, 2009; 4(87): 88–101. Polish.

9. Liu Y, Murata K, Inaba M, Takahara I. Synthesis of ethanol from methanol and syngas through an indirect route containing methanol dehydrogenation, DME carbonylation, and methyl acetate hydrogenolysis. Fuel Processing Technology 2013; 110: 206-213. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.12.016.

10. Merkisz J, Kozak M, Teodorczyk A. Benefits and risks associated with the use of biofuels in internal combustion engines. Archiwum Spalania, 2003, 3(1). Polish.

11. Nylund N, Koponen K. Fuel and Technology Alternatives for Buses. VTT Technical Research Centre of Finland; 2012. 144(2): 93-99.

12. Pałuchowska M, Stępień Z, Żak G. The prospects for the use of ethanol as a fuel component and its potential in the reduction of exhaust emissions. Combustion Engines 2014; 158(3): 80-92.

13. Regulation of the Minister of Economy of 14 May 2015 amending the regulation on quality requirements for biocomponents, methods for testing the quality of biocomponents and the method of sampling biocomponents. Polish. Dz.U. 2015 poz. 780.

14. Shapko V. F. Automobile engines. Fundamentals of the theory of internal combustion engines: textbook. Kremenchuk: Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrohradsky, 2023. – 180 p.

Vasyl Melnyk - candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Automobile Transport, Institute of Engineering Mechanics and Robotics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

Мельник Василь Миколайович **–** к.т.н, доцент кафедри автомобільного транспорту, Інститут інженерної механіки та робототехніки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

УДК 378.147:629.3(477)

В.С. Микольченко

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ В УКРАЇНІ

Удосконалення у сфері навчання займає центральне місце на порядку денному всіх систем освіти та навчання в Україні. В останні роки сформульовано нову освітню парадигму, в рамках якої якість сучасної освіти визначатиметься тим, наскільки у випускників професійних навчальних закладів розвинені компетенції - здатності виявляти зв'язки між знаннями та ситуаціями та застосовувати знання проблем, що адекватно вирішуються. Ця обставина зумовлена переходом від індустріальної економіки до інформаційної, коли виконавська точність, вміння підкорятися владі та примирення з довічною одноманітною працею замінюються на здатність швидко реагувати на зміни, творчість, ініціативність, різнобічний розвиток та комунікабельність.

Ключові слова: *система освіти, вища освіта, підготовка конкурентноспроможних фахівців, моніторинг, трудові ресурси, технології підготовки.*

Improvement in the field of education is at the center of the agenda of all education and training systems in Ukraine. In recent years, a new educational paradigm has been formulated, within which the quality of modern education will be determined by the extent to which graduates of vocational educational institutions have developed competencies - the ability to identify connections between knowledge and situations and apply knowledge to adequately solved problems. This circumstance is due to the transition from an industrial economy to an information economy, when executive accuracy, the ability to obey authority and reconciliation with lifelong monotonous work are replaced by the ability to quickly respond to changes, creativity, initiative, versatile development and sociability.

Keywords: *education system, higher education, training of competitive specialists, monitoring, labor resources, training technologies.*

Аналіз існуючої системи навчання студентів-автотранспортників показує, що однією з основних проблем підготовки кадрів є недостатній зв'язок і низький рівень інтеграції між вищим навчальним закладом та автотранспортними підприємствами, відсутність навчально-методичних матеріалів, розроблених за участю виробничників, відсутність реального залучення висококваліфікованих фахівців-практиків, часте використання традиційних методів навчання та як слідство, випуск фахівців з низькою конкурентоспроможністю.

Слід наголосити, що під час розробки навчальних планів, навчальних програм, методичних вказівок щодо виконання курсових проектів, робіт та дипломних проектних робіт для підготовки фахівців автомобільної галузі дуже поверхнево враховуються потреби та вимоги роботодавців. При розробці змісту навчальних планів, навчальних програм, методичних вказівок виконання курсових проектів, кваліфікаційних робіт, а також проведенні занять у процесі навчання, в тому числі і в виробничі бази підприємств, для підготовки майбутніх фахівців не були реально залучені провідні фахівці – виробничники в силу їх зайнятості у своїй основній діяльності. Саме цей факт є ключовим у неузгодженості теоретичного навчання з практикою на виробництві.

Основною метою дослідження є виявлення та вирішення завдань, спрямованих на підвищення ролі вищої освіти на ринку праці сфери дорожнього господарства. А також, покращення зв'язку та інтеграції між навчальним закладом та автотранспортними підприємствами, удосконалення змістовної частини навчально-методичних матеріалів за участю виробничників, реальне залучення провідних спеціалістів, підвищення якості освіти та підготовки конкурентоспроможних фахівців-автотранспортників, що відіграють важливу роль у покращенні якості автомобільних перевезень, на основі творчих та інноваційних підходів у навчанні. Для реалізації основної мети дослідження та вдосконалення системи підготовки молодих фахівців планується застосовувати наступну стратегію: реальне та максимальне залучення провідних фахівців автомобільної галузі у процес розробки змістовної частини навчальних матеріалів; використання матеріально-технічної бази виробництва із залученням фахівців практиків, а також впровадження прозорих та інноваційних методів проведення занять,

моніторингу їх якості та перевірки знань студентів, що дають реальних результатів у процесі підготовки конкурентоспроможних фахівців.

Реалізація запропонованої стратегії якісно покращити існуючий корпоративний зв'язок між вищим навчальним закладом та підприємствами, що потребують фахівців-автотранспортників, оскільки вони є роботодавцями і зацікавлені в підвищенні якості підготовки молодих фахівців на основі створених навчальних матеріалів з їхньою безпосередньою участю.

Реальними результатами щодо вдосконалення системи підготовки молодих фахівців будуть наступні:

- розробка «дорожньої карти», що охоплює всі питання щодо вивченню предметів та застосуванню отриманих знань на практиці, а також рекомендований раціональний режим дня студента, які сприяють підвищення успішності та відвідуваності в період навчання;
- розробка робочого навчального плану для студентів усіх рівнів;
- узгодження навчальних програм предметів за вибором студента в тісному співробітництві з роботодавцями;
- опрацювання методичних вказівок та програм з проходження ознайомлювальних, виробничих та переддипломних практик у тісному співробітництво з фахівцями-практиками;
- проведення практичних та лабораторних занять на виробничих підприємствах;
- залучення провідних спеціалістів – практиків для проведення занять;
- формування бази тем для дипломних проектних робіт, які охоплюють усі проблеми дорожнього господарства;
- досягати високого рівня успішності студентів та підготовки конкурентоспроможних спеціалістів для автомобільної галузі.

Очевидно, що завдання щодо розвитку автомобільної галузі можуть бути успішно вирішені лише висококваліфікованими, компетентними фахівцями, які мають новітню професійну освіту. Тому сучасне суспільство та відповідні йому ринкова економіка та ринок праці ставлять перед вищими навчальними закладами завдання з підготовки конкурентоспроможних та професійно мобільних фахівців, професійні та особисті якості яких відповідають вимогам роботодавців.

Водночас традиційна система підготовки фахівців для автомобільної галузі потребує вдосконалення та зміни організаційних форм, методів та технологій навчання. Однією з найважливіших проблем удосконалення системи заочного навчання у вищій школі є її трансформація з традиційної освітньої парадигми в компетентнісно-орієнтовану, що адекватно відображає виклики часу на характер сучасного ринку праці, на високу конкуренцію фахівців на ринку праці, на значне підвищення вимог роботодавців до рівнів сформованих компетенції. Іншим значущим фактором забезпечення якості підготовки фахівців є встановлення безпосередньої взаємодії вищих навчальних закладів з роботодавцями - підприємствами та установами транспорту - соціальними партнерами із спільної цільової підготовки фахівців.

Важливо мати на увазі, що майже протягом двох століть підготовка інженерно-технічних кадрів для автомобільного транспорту у Україні проводилася у корпоративних (відомчих) автомобільних навчальних закладах. Однак на початку 90-х років минулого століття ця корпоративна система в силу соціально-економічних змін, що відбулися в країні, була скасована і галузеві транспортні вищі навчальні заклади стали готувати фахівців на вільний ринок праці. Ці обставини породили, з одного боку, ризики для працевлаштування молодих спеціалістів – випускників вузів через вільний ринок праці, а з іншого боку, що зумовили великі ризики та матеріальні витрати для роботодавців при пошуку та відборі молодих фахівців на ринку вільної праці.

Специфіка навчання студентів-заочників обумовлена тим, що контингент студентів заочного навчання складається, в основному, з осіб, які поєднують навчання зі своєю трудовою діяльністю. Особливість навчання студентів-заочників полягає в тому, що більшість навчального матеріалу вони освоюють самостійно, в режимі самонавчання. Студенти заочної форми навчання, чий графік навчальних занять під час настановчо-екзаменаційних сесій стиснутий до межі, а заняття проводяться по 8-10 годин на день, при освоєнні навчального матеріалу в такому обсязі та режимі, зазнають значних психологічних, емоційних та інтелектуальних навантажень. Навчання за заочною формою передбачає, насамперед, уміння студента правильно організовувати свою навчальну діяльність у сесійний період, але, що особливо важливо, у міжсесійний період. Адже в сесійний період його діяльність певним чином організована, тут є

чіткий розклад занять, які необхідно відвідувати, а також супутні позитивні фактори, а саме можливість звертатися за консультацією та допомогою до провідних викладачів, до однокурсників групи, в якій студент навчається. Тут мають місце групова солідарність та відповідальність. У міжсесійний період студент наданий самому собі, його зайнятість з виробництва, турботи вдома, про сім'ю, втому та інші негативні чинники істотно позначаються організації його самостійної роботи.

Тимчасові, соціальні та дидактичні протиріччя зумовлюють проблему використання інноваційних педагогічних технологій навчання студентів-заочників, які забезпечують при обмежених психофізіологічних та здоров'язберігаючих ресурсах навчального часу високий рівень їхньої професійної підготовки, що повністю відповідають вимогам роботодавців та Федеральних Державних освітніх стандартів.

Важливо, що навчання студентів-заочників традиційно проводиться за одним і тим же основним освітнім програмам, навчальним планам, за тими ж програмами навчальних дисциплін, у більшості випадків за тими ж підручниками та навчальними посібниками, що й у студентів очної форми навчання – їх однокурсників за фахом. При цьому всі суб'єкти освітнього процесу у своїй діяльності правомірно керуються тим, що цінності диплома випускника вишу про вищу освіту, які визначаються кваліфікаційними вимогами державних освітніх стандартів до рівня знань та сформованих загальнокультурних та професійних компетенцій, єдині та не диверсифікуються за формами навчання.

У зв'язку з цим першочерговим завданням удосконалення системи підготовки фахівців за заочною формою є кардинальне підвищення інтенсивності навчання, що дає можливість студентам-заочникам успішно та в повному обсязі освоювати основні освітні програми в умовах психофізіологічного комфорту та збереження здоров'я. Очевидно, що це завдання може бути вирішене лише за рахунок використання високих інтенсивних педагогічних технологій.

Оскільки система заочного навчання характеризується великим обсягом самостійної роботи студентів, що індивідуально виконується в режимі самоврядного самонавчання, то таку ж високу актуальність набуває проблема розробки теоретико-методологічних засад управління самостійною роботою студентів-заочників.

Підсумовуючі потрібно сказати, що необхідно розробляти робочий навчальний план для всіх напрямків навчання у тісній співпраці з висококваліфікованими фахівцями практиками. Здійснювати розробку навчальних програм предметів вибору студента у тісній співпраці з фахівцями підприємств. Розробляти методичні вказівки та програми з проходження ознайомлювальних, виробничих та переддипломних практик у тісній співпраці з підприємствами. Проводити постійне розширення зв'язку між ВНЗ та виробництвом, що сприяє залученню провідних фахівців – практиків до навчального процесу.

Список використаних джерел

1. Таланчук П. М. Освіта повинна служити засобом розвитку людини // Дзеркало тижня. - 2003. - № 49.
2. Днепровой А. В. Украине создан Институт автосервиса // Авто и Сервис. - 2006. - № 1. - С. 20–21.
3. Сидоренко В. П. Транспортна академія України як інноваційний штаб ринкових перетворень у транспортній галузі // Автошляховик України. - 2001. - № 1. - С. 18–21.
4. Marsh Peter. Executive skills for engineers // Financial times. - 2004. - 24 may.

Микольченко Віра Сергіївна – к.ф.н., методист навчально-методичного відділку Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, e-mail: mikolvera04@gmail.com

Mykolchenko Vira Sergiivna – Candidate of Philosophical Sciences, Methodologist of the Educational and Methodological Department of Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, e-mail: mikolvera04@gmail.com

УДК 656.13

М.В. Митко, М.Ю. Бажан, А.Ю. Тихонов

СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СПЕЦІАЛЬНОГО АВТОТРАНСПОРТУ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

Розглянуто підхід до підвищення ефективності управління рухом спеціального автотранспорту комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» шляхом побудови структурно-алгоритмічної моделі. Запропоновано математичну модель вибору оптимальних маршрутів з урахуванням часу доби, завантаженості вулично-дорожньої мережі та пріоритетності завдань.

Ключові слова: *транспортні потоки, спеціальний автотранспорт, моделювання, оптимізація, комунальне підприємство, маршрут.*

An approach to increasing the efficiency of special vehicle traffic management of the municipal enterprise "Vinnytsia Specialized Installation and Operation Department for Road Traffic Organization" by building a structural and algorithmic model is considered. A mathematical model for selecting optimal routes taking into account the time of day, traffic congestion, and task priority is proposed.

Keywords: *traffic flows, special vehicles, modeling, optimization, utility company, route.*

Сучасні міські транспортні системи характеризуються високою динамічністю та складністю взаємодії різних типів транспортних засобів. Ефективність роботи спеціального автотранспорту комунальних підприємств значною мірою залежить від якості управління рухом, що визначає оперативність реагування на аварійні ситуації, ремонт дорожніх елементів та забезпечення безпеки дорожнього руху.

Комунальне підприємство «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» виконує широкий спектр робіт у межах транспортної мережі міста Вінниця. Проте наявна система управління рухом транспортних засобів підприємства здебільшого здійснюється вручну та не враховує поточну транспортну ситуацію на дорогах. Це призводить до нераціонального використання часу, збільшення витрат на паливо і зниження продуктивності праці.

Метою є вдосконалення системи управління рухом спеціального автотранспорту з урахуванням оперативності реагування, економії ресурсів і стабільності транспортного процесу. Вдосконалена математична модель дає змогу визначати оптимальні маршрути руху залежно від часу доби, інтенсивності транспортних потоків та пріоритетності завдань, що дозволяє підвищити ефективність функціонування комунального транспорту.

Для підвищення ефективності роботи запропоновано побудову структурно-алгоритмічної моделі управління рухом спеціального автотранспорту.

Модель передбачає вибір оптимального маршруту руху залежно від умов міської транспортної мережі:

$$\min Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} C_{ij} \cdot x_{ij}, \tag{1}$$

де Z – сумарні витрати часу або палива на виконання завдань; C_{ij} – витрати на переміщення від точки i до точки j; x_{ij} – кількість транспортних одиниць, направлених із i у j.

Оптимізаційна задача вирішується методами транспортного програмування або алгоритмами найкоротшого шляху (Дейкстри, Флойда-Воршелла), що дозволяє автоматично визначати маршрути обслуговування із мінімальними витратами часу при заданих обмеженнях.

Алгоритм Дейкстри та алгоритм Флойда-Воршелла – це два різні алгоритми для знаходження найкоротших шляхів, але вони призначені для різних завдань: алгоритм Дейкстри шукає найкоротші шляхи від однієї вершини до всіх інших, а алгоритм Флойда-Воршелла знаходить найкоротші шляхи між усіма парами вершин у графі, причому останній може працювати з від'ємними вагами ребер (але без негативних циклів).

На основі аналізу транспортної мережі мікрорайонів міста Вінниця (зокрема «Вишенька», «Центр», «Замостя») визначено основні ділянки з інтенсивним рухом, де затримка спеціального автотранспорту перевищує 25 – 30% від загального часу маршруту. З урахуванням цього побудовано порівняльну таблицю ефективності різних підходів до управління рухом.

Таблиця 1 – Порівняння ручного та автоматичного управління рухом спеціального автотранспорту

№	Показник	Ручне управління	Автоматизована модель
1	Середній час реагування, хв	28	17
2	Пробіг за день, км	85	68
3	Витрати палива, л/день	26,4	20,7
4	Продуктивність виконання завдань, %	100	135

Для реалізації ефективної системи управління рухом спеціального автотранспорту застосовано імітаційну модель транспортних потоків, що відображає динаміку руху техніки в умовах міської вулично-дорожньої мережі.

Обрана макромодель типу LWR (Лайтхілл–Уізем–Річардс) дозволяє враховувати середні характеристики інтенсивності, щільності та швидкості потоку, що робить її придатною для моделювання міських умов.

Модель орієнтована на мінімізацію часу реагування спецтранспорту та уникнення перевищення пропускної здатності ділянок мережі.

У разі наявності достатніх обчислювальних ресурсів система може бути розширена до мікромоделі на основі Aimsun Online, що забезпечить моделювання руху кожного окремого транспортного засобу.

Таким чином, модель може бути інтегрована в контур управління міською системою, забезпечуючи оптимальний розподіл транспортних потоків та підвищення надійності реагування.

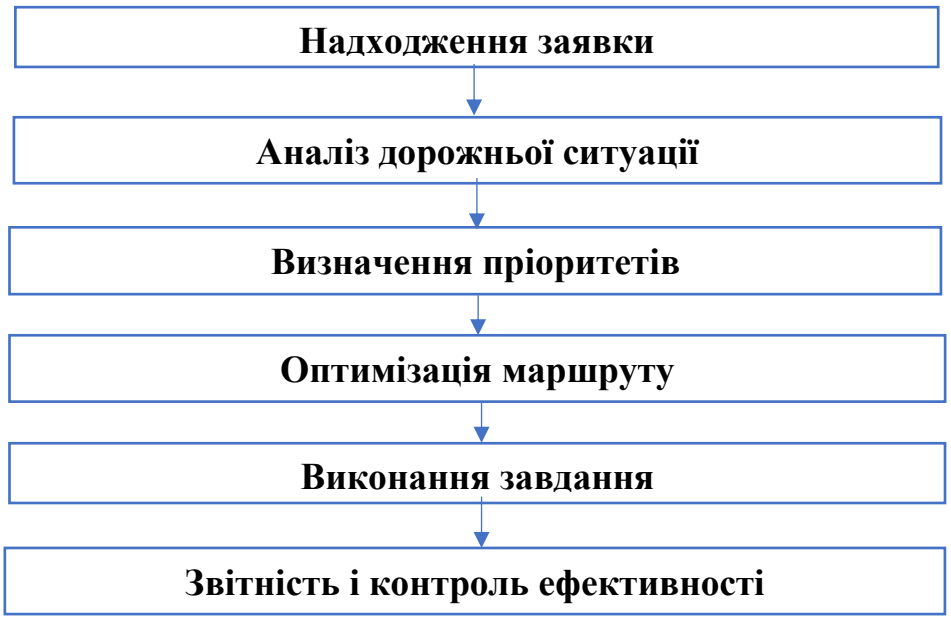


Рисунок 1 – Схема структурно-алгоритмічної моделі управління рухом спеціального автотранспорту

Схема відображає основні етапи функціонування системи управління, що забезпечують оперативність і точність виконання завдань спеціальним автотранспортом:

1. **Надходження заявки.** На першому етапі система отримує інформацію про подію або необхідність виїзду спеціального транспорту (наприклад, технічне обслуговування

світлофорного об’єкта, аварійне відновлення дорожнього знаку чи розмітки). Дані надходять від диспетчера, автоматизованої системи моніторингу або через мобільний застосунок.

2. **Аналіз дорожньої ситуації.** Після надходження заявки система оцінює поточний стан транспортної мережі: інтенсивність руху, наявність заторів, перекриттів, погодні умови. Для цього використовуються дані GPS-моніторингу, датчики трафіку та інформація з міської системи управління рухом.

3. **Визначення пріоритетів.** Кожна заявка оцінюється за ступенем важливості та терміновості. Наприклад, аварійне вимкнення світлофорного об’єкта має вищий пріоритет, ніж планові роботи. Система автоматично розподіляє ресурси між завданнями відповідно до їхнього рівня пріоритетності.

4. **Оптимізація маршруту.** З урахуванням пріоритету, інтенсивності транспортних потоків та часу доби система розраховує найкоротший або найшвидший маршрут руху спеціального автомобіля. Оптимізація виконується на основі математичної моделі, що враховує пропускну здатність вулично-дорожньої мережі, середню швидкість руху та прогнозовану завантаженість окремих ділянок.

5. **Виконання завдання.** Спецтранспорт виконує виїзд згідно з визначеним маршрутом. У процесі руху система відстежує положення автомобіля в реальному часі, а за потреби може коригувати маршрут при зміні дорожньої ситуації (наприклад, виникненні затору або аварії).

6. **Звітність і контроль ефективності.** Після завершення завдання система формує звіт про час реагування, відстань, витрати пального та ефективність використання техніки. Ці дані зберігаються у базі даних і використовуються для подальшого аналізу, моделювання та вдосконалення логістичних процесів.

У системі управління рухом спеціального автотранспорту запропоновано використовувати імітаційну модель, яка описує процес реагування автомобілів на аварійні ситуації у місті Вінниця. Модель ґрунтується на принципах мінімізації часу прибуття до місця події при обмежених ресурсах (кількість автомобілів, паливо, стан дорожньої мережі).

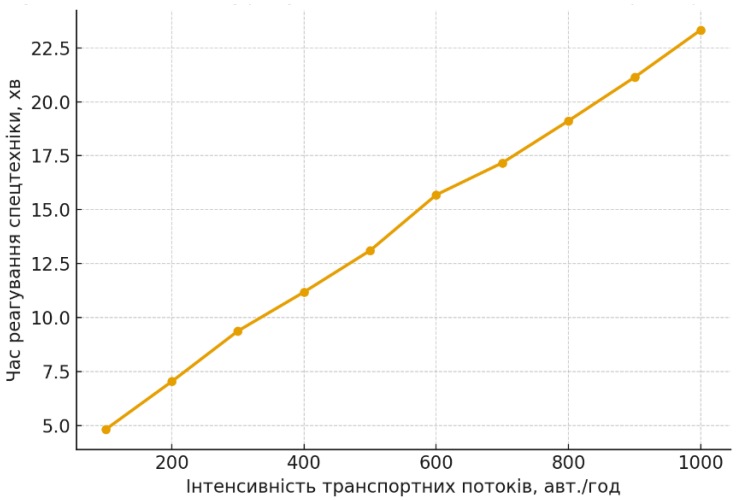


Рисунок 2 – Залежність часу реагування спецтехніки від інтенсивності транспортних потоків

Для моделювання використовується цільова функція:

$$T_{\min} = \sum_{i=1}^{n} (t_{vi} + t_{ri}), \tag{2}$$

де t_{vi} – час руху i-го автомобіля до об’єкта; t_{ri} – час виконання робіт на місці події.

Оптимальний розподіл автотранспорту між аварійними ділянками визначається з урахуванням:

- завантаженості вулично-дорожньої мережі (дані GPS-моніторингу);
- пріоритетності аварійних подій (пошкодження світлофорів, дорожніх знаків, розмітки тощо);

- наявності техніки та персоналу на базі підприємства.

Для підвищення ефективності управління рухом спеціального автотранспорту комунального підприємства у місті Вінниця запропоновано структурно-алгоритмічну модель, що поєднує етапи аналізу дорожньої ситуації, визначення пріоритетів та оптимізації маршрутів. Застосування моделювання транспортних потоків дало змогу скоротити середній час реагування на аварійні ситуації на 35–40%, знизити витрати пального на 15–20% та зменшити пробіг техніки. Вдосконалена модель може бути інтегрована до міської системи управління дорожнім рухом, підвищуючи її оперативність, надійність і загальну ефективність функціонування комунального автотранспорту.

Список використаних джерел

1. Туренко А. М. Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП : підручник для вищих навчальних закладів / А. М. Туренко, В. І. Клименко, О. В. Сараєв, С. В. Данець. Харків : ХНАДУ, 2013. 320 с.

2. Кашканов А. А. Технології підвищення ефективності автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2018. 160 с.

3. Кашканов, В. А. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті : навчальний посібник / В. А. Кашканов, А. А. Кашканов, В. П. Кужель. − Вінниця : ВНТУ, 2020. − 104 с. ISBN 978-966-641-820-6.

4. М. В. Митко. Підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств удосконаленням структури виробничих підрозділів*:* дис. … канд. техн. наук: 05.22.20 / Митко Микола Васильович. – К., 2019. – 251 с.

5. Митко, М., Бурлака, С., & Ярощук, Р. (2025). Аналіз технічних і технологічних форм взаємодії різних видів транспорту. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, *349*(2), с. 77-82.

6. ProfGPS.ua – це професійні рішення для GPS моніторинга транспорту та контролю пального: Дата оновлення: 06.10.2025. URL: https://sales.profgps.ua/?gad_source=1&gad_campaignid=21193691480&gbraid=0AAAADQQhA0rp9jeiPcRshdMvrk6pNmcZ&gclid=Cj0KCQjwl5jHBhDHARIsAB0Yqjy6itXz3pjC5BQ2hwlrSmWFYb8SxCJJV7NCXSK1jdncS5sW2I_ouqMaAv7pEALw_wcB (дата звернення 08.10.2025).

Митко Микола Васильович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mytko@vntu.edu.ua

Бажан Максим Юрійович – студент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: bazhan911@gmail.com

Тихонов Андрій Юрійович – студент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: fafan4455ff@gmail.com

Mytko Mykola V. – PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mytko@vntu.edu.ua

Bazhan Maksim Y. – student of the Department of Automobiles and Transport Management, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bazhan911@gmail.com

Tykhonov Andrii Y.– student of the Department of Automobiles and Transport Management, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: fafan4455ff@gmail.com

УДК: 629.3(043)

П.В. Мовчан, В.С. Кравець

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЗОВИХ КОМУНІКАЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ УГЗС.МА-131 ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНЦІЇ

У роботі розглядаються можливості вдосконалення аеродромно-технічного забезпечення польотів шляхом впровадження сучасних засобів контролю якості газів. Проаналізовано недоліки існуючих газозарядних станцій, зокрема УГЗС.МА-131, та запропоновано рішення щодо інтеграції портативних приладів HYDROBABY та AN-300 для підвищення ефективності та безпеки обслуговування ПС. Обґрунтовано доцільність використання сучасних газоаналізаторів в умовах інтенсивної експлуатації авіаційної техніки, зокрема на оперативних і запасних аеродромах.

Ключові слова: *газозарядна станція, якість газів, HYDROBABY, AN-300, точка роси, пневмосистема, портативний аналізатор.*

The paper considers the possibilities of improving airfield technical support for flights by introduce quality control measures. The shortcomings of existing gas filling stations, in particular the UGZS.MA-131, are analyzed, and solutions are proposed for integrating the HYDROBABY and AN-300 portable devices to improve the efficiency and safety of aircraft maintenance. The feasibility of using modern gas analyzers in conditions of intensive operation of aviation equipment, in particular at operational and reserve airfields, is justified.

Keywords: *gas filling station, gas quality, HYDROBABY, AN-300, dew point, nitrogen, pneumatic system, flight safety, portable analyzer.*

Якісне поліпшення технології виконання операцій з аеродромно-технічного забезпечення можливо досягти за рахунок застосування новітніх зразків ЗАТО ПС та модернізації існуючих засобів.

Покращення окремих процесів виконання операцій по обслуговуванню ПС з забезпеченням безпеки польотів може бути досягнуте за рахунок конструктивних змін та властивостей ЗАТЗП.

Важливим елементом АТЗ польотів є забезпечення ПС електричною та іншими видами енергії, кондиційними ПММ, стисненими, зрідженими газами, іншими матеріальними засобами та своєчасну їх подачу до ПС [1].

Висока технологічність сучасних повітряних суден та складність їх технічних систем обумовлює високі вимоги до якості газів, що застосовується в пневмосистемах. В той же час висока інтенсивність та напруженість теперішніх збройних конфліктів вимагає скорочення часу підготовки повітряного судна до здійснення бойового вильоту чи виконання іншого не менш важливого завдання. Одним з обов'язкових елементів підготовки ПС є контроль якості газів. Цей елемент підготовки потребує затрат часу та залучення персоналу, але нехтувати ним не можна так як він суттєво впливає на безпеку польотів та якість виконання завдань авіаційної частини.

Здійснення контролю якості газів зумовлює задіяння штатної лабораторії контролю. Для проведення аналізу газів витрачається визначений час, а разом з тим може ускладнюватися та затримуватись процес АТЗ польотів. Особливо критично це відчувається при забезпеченні бойових вильотів авіаційним підрозділом на оперативних та запасних аеродромах [2].

Безпосередню зарядку відповідних систем повітряних суден киснем і азотом здійснюють за допомогою спеціальних засобів – газозарядних станцій. До газозарядних станцій висуваються наступні вимоги:

- швидка, своєчасна подача до ПС;
- зарядка стисненим, кондиційним газом відповідних систем ПС;
- підтримання кондиційності газів під час зберігання;
- надійність взаємодіючих систем станції;
- простота ТО, РР та ремонту.

Для постійного контролю і визначення якості газу в станції УГЗС.МА-131 не передбачено вбудованих аналізаторів. Як наслідок, командир підрозділу, черговий АТЗ та водій-оператор

станції цілком покладаються на результати перевірки стаціонарної або польової лабораторії контролю якості газів, під час зарядки сторонніх ємностей (ПС). У системі чотирьох-ступеневого контролю передбачено контроль точки роси та відсоткового вмісту газу, що знаходиться в станції, тільки за паспортними даними. Відсутність контролю кондиційності газів під час обслуговування ПС, може спричинити підвищення небезпечних факторів щодо виникнення передумов до авіаційних подій з вини наземних авіаційних спеціалістів аеродромно-технічного забезпечення [3].

На теперішній час в ПС провідних країн світу застосовуються сучасні, технологічні та прості в експлуатації прилади контролю фізико-хімічних параметрів газів, принцип роботи яких заснований на новітніх наукових результатах та методах проведення аналізу. Аналіз ринку сучасних газових аналізаторів показав, що існує ряд приладів різного функціоналу.

Новий, портативний пристрій вимірювання вологості (аналізатор точки роси) HYDROBABY - найменший, найлегший і найбільш конкурентоспроможний за ціною серед портативних приладів для вимірювання низьких точок роси на сьогоднішньому ринку [4].

Більша швидкість вимірювання, покращена відтворюваність, чутливість до температури навколишнього середовища, вища надійність і точність при більшій економічній ефективності роблять прилади технологічними лідерами. Застосування в лабораторіях і системах управління технологічними процесами аналізаторів вологості задовольняють потреби широкого галузей промисловості.

Портативний аналізатор азоту AN-300 (рис. 3) призначений для вимірювання вмісту азоту в автомобільній промисловості, зокрема в торговельних мережах роздрібної торгівлі шинами. А також у газодобувних промисловостях деяких країн світу [5].

Виготовлений з ударостійких матеріалів, AN-300 забезпечує неперевершену продуктивність у найсуворіших умовах. Пристрій живиться від 3 батарейок типу AA, яких вистачить не менше 2000 годин використання.

Здійснивши порівняння комунікацій станції УГЗС.МА, та враховуючи можливості та технічні характеристики сучасних приладів контролю якості газів, таких як “HYDROBABY” та “AN-300” можливо зробити висновок, що доречно монтувати запропонований прилад AN-300 до газових комунікацій на лінії роздачі 0,5…5,5 кгс/см2, а HYDROBABY до газових комунікацій на лінії, що веде на панель роздачі. Таким чином станція набуває спроможності здійснення контролю кондиційності газу в процесі АТЗ польотів авіації, з високою точністю, за короткий проміжок часу (до двох хвилин), таким чином не допускаючи потрапляння некондиційних газів в системи ПС.

Список використаних джерел

1. Наказ Міністерства Оборони України від 24.12.2015 р. №761 “Про затвердження Правил аеродромно-технічного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації України”.

2. Наказ Міністерства Оборони України від 16.02.2016 р. № 77 “Про затвердження Інструкції з експлуатації електрогазової техніки в державній авіації України ”.

3. Інформаційно-довідкове видання від 2024 року № ПвВП 32-03(12).01 “Засоби аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації”.

4. Аналізатор вологи HYDROBABY https://www.wittgas.com/products/gas-analysers/moisture-measurement-dew-point-analysers/moisture-analyser-hydrobaby/.

5. Модель AN300 – портативний аналізатор азоту https://www.norskanalyse.com/produkt/model-an300-portable-nitrogen-analyzer/.

Мовчан Павло Вікторович – доцент кафедри № 205, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, email: movchan_pv@ukr.net

Кравець Владислав Сергійович – слухач штатний, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків; email: vladprik480@gmail.com

Movchan Pavlo Viktorovich – Associate Professor at Department № 205, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv email: obusilko@ukr.net

Kravets Vladislav Sergeevich – full-time student, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv; email: vladprik480@gmail.com

УДК 629.33:656.07

М.Л. Москалюк, А.А. Кашканов

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСНИМИ ЧАСТИНАМИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Запропоновано адаптивну модель прогнозування потреби в запасних частинах для автомобільного транспорту з урахуванням змінних зовнішніх умов експлуатації. Методологія поєднує лінійну регресію з факторами середовища, ARIMA-моделювання часових рядів та LSTM-мережу для оцінки нелінійних і довготривалих залежностей. Телематичні дані (GPS, CAN-шина, датчики зносу) використовуються як вхідні параметри моделі. Прототип системи підтримує інтеграцію з ERP-модулем управління запасами та застосовує механізм динамічного зважування прогнозів за показником RMSE. Результати моделювання показали підвищення точності прогнозу на 12–18 %, зменшення надлишкових запасів на 15-25 %, скорочення дефіциту критичних деталей на 20 % та зростання коефіцієнта технічної готовності автопарку на 5-7 %. Запропонований підхід забезпечує економічну ефективність, гнучкість планування та підвищення надійності автопарків у динамічному середовищі.

Ключові слова: *адаптивне планування, потреба в запасних частинах, автомобільний транспорт, телематика, часові моделі (ARIMA, LSTM), гібридна модель прогнозування.*

An adaptive model for forecasting spare parts demand in automotive transport has been proposed, accounting for variable external operating conditions. The methodology integrates linear regression with environmental factors, ARIMA time series modeling, and an LSTM neural network to capture nonlinear and long-term dependencies. Telematic data (GPS, CAN bus, wear sensors) serve as input parameters for the model. The system prototype supports integration with an ERP inventory management module and applies a dynamic forecast weighting mechanism based on RMSE. Modeling results demonstrated a 12–18% improvement in forecast accuracy, a 15–25% reduction in excess inventory, a 20% decrease in critical part shortages, and a 5–7% increase in fleet technical readiness. The proposed approach ensures economic efficiency, planning flexibility, and enhanced fleet reliability in dynamic operational environments.

Keywords: *adaptive planning, spare parts demand, automotive transport, telematics, time-series models (ARIMA, LSTM), hybrid forecasting model.*

Автомобільний транспорт (АТ) є ключовою складовою сучасної транспортної системи, що забезпечує мобільність населення, ефективність логістичних процесів та розвиток економіки. Його надійність та безперервність функціонування значною мірою залежать від своєчасного технічного обслуговування і наявності необхідних запасних частин [1]. Традиційні підходи до планування потреби в запасних частинах ґрунтуються переважно на статистичних даних про середні строки служби деталей та регламентних інтервалах обслуговування [2, 3]. Проте такі методи дедалі частіше виявляються недостатніми в умовах зростаючої складності транспортних технологій та мінливості зовнішнього середовища [4].

Зовнішні умови експлуатації АТ – кліматичні фактори (температура, вологість, опади), дорожні умови (якість покриття, інтенсивність руху, наявність ухилів), а також соціально-економічні та кризові чинники (нестабільність постачання, воєнні дії, енергетичні обмеження) – безпосередньо впливають на інтенсивність зносу вузлів і агрегатів. Потреба в запасних частинах формується не лише внутрішніми характеристиками транспортного засобу, а й зовнішнім контекстом його експлуатації.

У сучасних умовах цифровізації транспортної галузі зростає роль телематичних систем [5], інтелектуальних транспортних технологій [6] та методів прогнозного обслуговування (Predictive Maintenance) [7]. Вони дозволяють у режимі реального часу відстежувати технічний стан автомобіля, збирати дані про умови експлуатації та формувати адаптивні моделі планування запасів. Такий підхід відкриває можливості для зменшення надлишкових складських запасів, скорочення простоїв транспорту та підвищення економічної ефективності автопарків.

Разом із тим, інтеграція зовнішніх факторів у процес планування потреби в запасних частинах залишається складним завданням [4]. Воно потребує міждисциплінарного підходу, що поєднує транспортні технології, математичне моделювання, аналіз даних, GIS-візуалізацію та

управління ризиками. Саме тому дослідження впливу зовнішніх умов на потребу в запасних частинах є актуальним як для наукової спільноти, так і для практиків у сфері автомобільного транспорту.

Метою цієї роботи є обґрунтування технологічних аспектів адаптивного планування потреби в запасних частинах для АТ з урахуванням змін зовнішнього середовища. Реалізація цієї мети передбачає аналіз ключових факторів впливу, розробку методології прогнозування та оцінку ефективності запропонованих рішень у практичних умовах.

Методологічна основа дослідження (табл. 1) ґрунтується на поєднанні системного аналізу, математичного моделювання, телематичного моніторингу та інструментів транспортних технологій [8]. Вона спрямована на виявлення закономірностей зміни потреби в запасних частинах залежно від зовнішніх умов та розробку адаптивної моделі планування.

Таблиця 1 – Методологічна схема дослідження

Етап	Зовнішні фактори / об'єкти аналізу	Методи та інструменти	Очікувані результати
1. Ідентифікація факторів	- Клімат (температура, вологість, опади) - Дорожні умови (покриття, ухили, інтенсивність руху) - Експлуатаційні режими (місто/траса, завантаженість) - Соціально-економічні ризики (кризи, перебої постачання)	- Системний аналіз - Експертні оцінки - Нормативні документи	Сформований перелік ключових зовнішніх умов, що впливають на потребу в запасних частинах
2. Класифікація запасних частин	- Гальмівні колодки, амортизатори, шини (високочутливі) - Фільтри, мастильні матеріали (середньочутливі) - Електроніка, кузовні елементи (низькочутливі)	- Функціонально-вартісний аналіз - Групування за критеріями зносу	Матриця «чутливість до умов – пріоритетність планування»
3. Збір даних	- Телематичні дані (GPS, CAN-шина) - GIS-дані (дорожня мережа, кліматичні карти) - Статистика відмов і ремонтів	- Моніторинг у реальному часі - Просторовий аналіз (GIS) - Бази даних автопарків	Єдина база даних для моделювання та прогнозування
4. Моделювання та прогнозування	- Залежність між факторами середовища та зносом деталей	- Регресійний аналіз - Сценарне моделювання (місто, траса, гори) - Алгоритми ARIMA, LSTM	Прогноз потреби в запасних частинах для різних сценаріїв експлуатації
5. Адаптивне планування	- Управління складськими запасами - Закупівлі та логістика	- Інтеграція з ERP-системами [9] - Оптимізаційні алгоритми - Ризик-менеджмент	Динамічне коригування планів закупівель і рівня запасів
6. Верифікація та апробація	- Муніципальні та комерційні автопарки	- Пілотні дослідження - Порівняння з традиційними методами	Підтвердження ефективності: зниження витрат на 15–25%, скорочення простоїв
7. Очікувані результати	- Уся система	- Комплексна оцінка ефективності	Підвищення надійності транспорту, зменшення витрат, масштабованість моделі

За результатами дослідження було визначено ключові зовнішні фактори. Встановлено, що найбільший вплив на інтенсивність зносу мають температурні коливання, якість дорожнього покриття та режим експлуатації (міський цикл із частими зупинками проти міжміського руху). У регіонах із високою вологістю та частими опадами спостерігається підвищений рівень корозії та скорочення строку служби гальмівних дисків і підвіски. У міських умовах із високою щільністю руху потреба в гальмівних колодках зростає на 20–30% у порівнянні з міжміськими маршрутами.

Класифікацію запасних частин за чутливістю було виконано на основі сформованої матриці чутливості, яка дозволяє розподілити запасні частини на три групи:

- високочутливі: гальмівні колодки, амортизатори, шини, акумулятори;
- середньочутливі: фільтри, мастильні матеріали, елементи підвіски;
- низькочутливі: електронні модулі, кузовні елементи.

Це дало змогу визначити пріоритетність у плануванні та оптимізації запасів.

Моделювання здійснювалось за запропонованою обчислювальною схемою (рис. 1). Ця схема є гібридною системою прогнозування потреби в запасних частинах, яка поєднує статистичні методи, нейромережеві моделі та механізми самонавчання. На першому етапі система отримує вхідні дані: часовий ряд фактичного споживання запасних частин $D(t)$ та набір зовнішніх факторів $F_1(t)$, $F_2(t)$, …, $F_m(t)$, які можуть впливати на попит. Ці дані надходять до блоку лінійної регресії, що формує базовий прогноз $D_{reg}(t)$ з урахуванням зовнішніх змінних, а також обчислює залишкову похибку $\varepsilon(t)$, яка відображає невраховані часові закономірності.

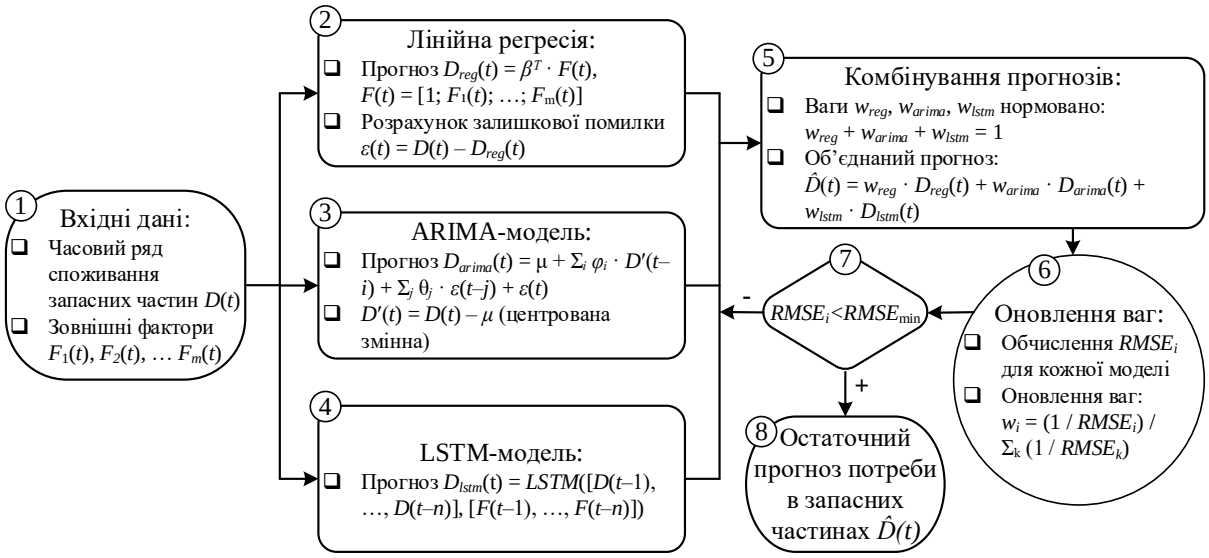


Рисунок 1 – Схема адаптивної моделі прогнозування потреби в запасних частинах АТ

Наступним етапом є застосування ARIMA-моделі, яка аналізує часову структуру залишкової похибки та генерує уточнений прогноз $D_{arima}(t)$, враховуючи автокореляції та сезонні коливання. Паралельно працює блок LSTM – глибока нейромережа, здатна виявляти складні нелінійні залежності між історією споживання та зовнішніми факторами. Вона формує третій прогноз $D_{lstm}(t)$, який доповнює попередні моделі.

Усі три прогнози об'єднуються в окремому блоці за допомогою зваженої формули:

$$\hat{D}(t) = w_{reg} \cdot D_{reg}(t) + w_{arima} \cdot D_{arima}(t) + w_{lstm} \cdot D_{lstm}(t),$$

де ваги w_i визначають внесок кожної моделі.

Ці ваги не є статичними – вони автоматично оновлюються на основі точності кожної моделі, виміряної через RMSE. Чим нижча похибка, тим більша вага моделі в загальному прогнозі. Такий механізм забезпечує адаптивність системи та її здатність до самонавчання.

У результаті користувач отримує об'єднаний прогноз $\hat{D}(t)$, який є збалансованим поєднанням лінійної, часової та нейромережевої логіки. Система дозволяє враховувати зовнішні впливи, часову структуру та складні взаємозв'язки, а також автоматично адаптується до змін у даних, забезпечуючи високу точність і надійність прогнозування (табл. 2).

Таблиця 2 – Традиційне планування vs Адаптивне планування

Критерій	Традиційне планування	Адаптивне планування
Урахування зовнішніх факторів	Не враховуються	Температура, вологість, дорожні умови, режими експлуатації
Коефіцієнт кореляції (*r*) між умовами та зносом	0,45–0,62	0,72–0,85
Точність прогнозування	Варіативність 25–30%	+12-18% точності у порівнянні з традиційним
Надлишкові запаси	Часті перевищення лімітів	Зниження на 15-25%
Дефіцит критичних деталей	Високий ризик	Зменшення на 20%
Коефіцієнт технічної готовності автопарку	–	Зростання на 5–7%

Таким чином, отримані результати підтверджують, що врахування зовнішніх умов у процесі планування запасів запасних частин є критично важливим для підвищення ефективності транспортних технологій.

Список використаних джерел

1. Кашканов А. А., Біліченко В. В. Експлуатація та обслуговування транспортних машин: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2004. 136 с.
2. Boylan J., Syntetos A. Intermittent Demand Forecasting: Context, Methods and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2021. 400 p. https://doi.org/10.1002/9781119135289.
3. Кашканов А.А., Москалюк М.Л. Методи обґрунтування запасів запасних частин у системі управління транспортним процесом. Вісник машинобудування та транспорту, 2024. №1(19), С. 68-74. https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-68-74.
4. Кашканов А.А., Москалюк М.Л. Невизначеність та її вплив на формування запасів запасних частин для забезпечення ефективності транспортних процесів. Вісник машинобудування та транспорту, 2024. №2. С. 74-80. https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.74.
5. Кашканова А. А. Соціотехнічний підхід як шлях удосконалення безпекового простору в транспортній системі міста. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2025. №4. С. 200-208. https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-181-4-200-208.
6. Zhao L., Wang Q., Hwang B.-G.: How to Promote Urban Intelligent Transportation: A Fuzzy Cognitive Map Study. Frontiers in Neuroscience. 16, 2022, 919914. https://doi.org/10.3389/fnins.2022.919914.
7. Patel M., Vasa J., Patel B. Predictive Maintenance: A Comprehensive Analysis and Future Outlook. 2nd International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT), Belagavi, Karnataka, India, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/INCOFT60753.2023.10425122.
8. İnce E.C. Mapping the Path to Sustainable Urban Mobility: A Bibliometric Analysis of Global Trends and Innovations in Transportation Research. Sustainability. 2025, 17(4), 1480. https://doi.org/10.3390/su17041480.
9. Woźniakowski T, Jałowiecki P, Zmarzłowski K. ERP systems and warehouse management by WMS. Information System in Management. 2018. 7(2). 141-51.

Москалюк Микола Леонідович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: moskalyuk255@gmail.com

Кашканов Андрій Альбертович – доктор техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Moskaliuk Mykola – Postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: moskalyuk255@gmail.com

Andriy Kashkanov – Doctor of Technical Science, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

УДК 629.113

І.С. Мурований, Н.В. Биглюк

КОМБІНОВАНА ГІБРИДНА СИЛОВА УСТАНОВКА АВТОМОБІЛЯ: КОНСТРУКЦІЯ, РЕЖИМИ РОБОТИ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

Розглянуто конструкцію комбінованої гібридної силової установки автомобіля, яка поєднує переваги послідовних і паралельних схем та усуває їхні основні недоліки. Особливу увагу приділено системі з планетарною передачею, що забезпечує тягово-швидкісний зв'язок між двигуном внутрішнього згоряння та двома електродвигунами. Проведено порівняльний аналіз основних типів гібридних схем, розглянуто режими роботи установки та конструктивні особливості її основних елементів. Зазначено, що застосування комбінованої схеми дозволяє знизити витрати палива, покращити паливну економічність та зменшити рівень шкідливих викидів, що робить її перспективною технологією у сучасному автомобілебудуванні.

Ключові слова: *гібридна силова установка, планетарна передача, електродвигун, енергоефективність, тягово-швидкісний зв'язок, паливна економічність.*

The design of a combined hybrid powertrain system for vehicles, which integrates the advantages of both series and parallel configurations while eliminating their main drawbacks, is considered. Special attention is given to the planetary gear system, which provides a traction-speed connection between the internal combustion engine and two electric motors. A comparative analysis of the main types of hybrid systems has been carried out, the operating modes of the powertrain and the structural features of its main components have been examined. It is noted that the use of a combined configuration makes it possible to reduce fuel consumption, improve fuel efficiency, and decrease the level of harmful emissions, making it a promising technology in modern automotive engineering.

Keywords: *hybrid powertrain, planetary gear, electric motor, energy efficiency, traction-speed connection, fuel efficiency.*

Розвиток сучасного автомобільного транспорту визначається необхідністю підвищення енергоефективності, зменшення витрат палива та зниження токсичності відпрацьованих газів. Ці фактори зумовлюють пошук нових технічних рішень у сфері силових установок, серед яких особливе місце займають гібридні технології. Гібридна силова установка (ГСУ) поєднує традиційний двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) з електричним приводом, що дозволяє оптимізувати роботу системи залежно від умов руху автомобіля [1–4]. Тому необхідно знайти рішення, яке б поєднувало сильні сторони послідовних і паралельних схем та водночас усувало їхні недоліки. Найбільш перспективним варіантом є комбінована конструкція з використанням планетарної передачі. Особливість такої схеми полягає в тому, що вона забезпечує як швидкісний, так і тяговий зв'язок між двигуном внутрішнього згоряння та двома електромашинами. Її доцільно називати установкою з тягово-швидкісним зв'язком, оскільки вона фактично поєднує принципи послідовної системи (через механічний швидкісний зв'язок ДВЗ з електродвигуном) і додатково містить ще один електродвигун для реалізації тягового режиму одночасно зі швидкісним.

У практиці автомобілебудування найчастіше застосовуються три типи схем: послідовна, паралельна та комбінована.

Послідовна схема передбачає відсутність механічного зв'язку між ДВЗ і колесами — двигун приводить у дію генератор, який живить тяговий електродвигун. Основна перевага — стабільна робота ДВЗ в оптимальному режимі та спрощення трансмісії. Проте суттєвим недоліком є енергетичні втрати через подвійне перетворення енергії, що знижує загальний ККД системи [2].

Паралельна схема характеризується спільною передачею крутного моменту від ДВЗ та електродвигуна на ведучі колеса. Вона забезпечує високу ефективність при значних навантаженнях і дає змогу зменшити об'єм ДВЗ. Недоліком є складність конструкції та неможливість забезпечення постійної роботи двигуна в оптимальному режимі [3].

Комбінована схема поєднує переваги двох попередніх систем, дозволяючи ефективно розподіляти потужність між компонентами, рис.1. Особливо ефективною є схема з планетарною

передачею, яка забезпечує тягово-швидкісний зв'язок між ДВЗ і електродвигунами, а також можливість роботи в різних режимах без значних втрат енергії [4].

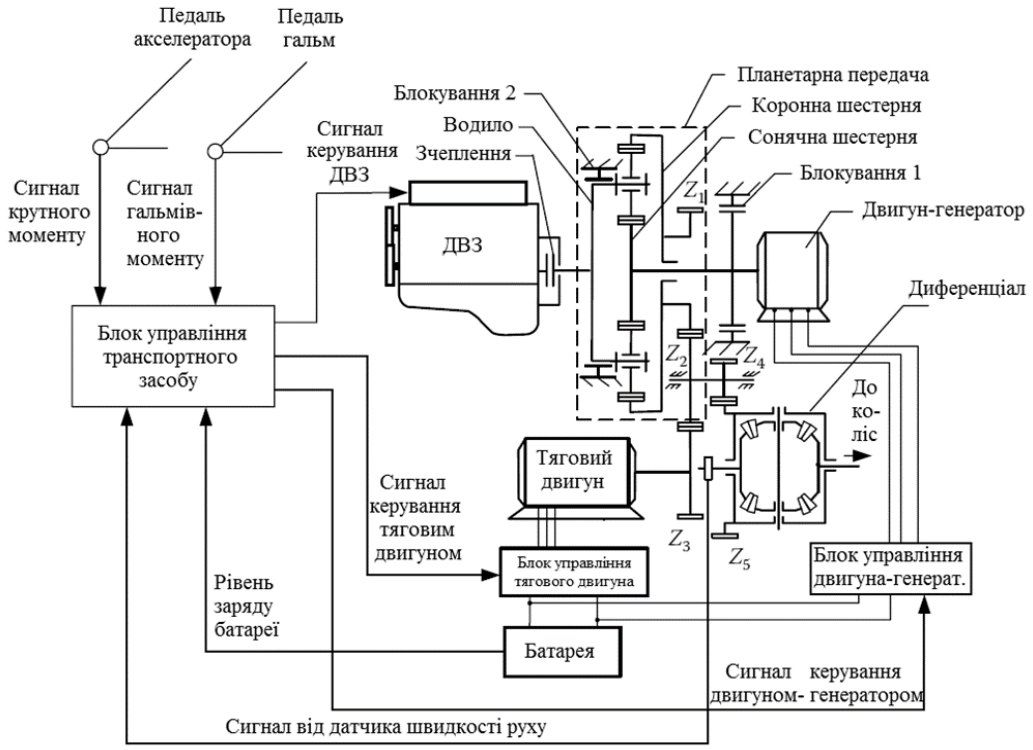


Рисунок 1 – Загальна схема конструкції гібридної силової установки з тягово-швидкісним зв'язком (комбінована)

Комбінована установка з планетарною передачею забезпечує гнучке керування потоками енергії. ДВЗ з'єднаний з водилом планетарного механізму, генератор — із сонячною шестернею, а ведучі колеса — з коронною шестернею. Така конфігурація дозволяє змінювати розподіл потужності між електродвигунами та ДВЗ залежно від режиму руху.

Основні елементи системи включають:

- Двигун внутрішнього згоряння**.** Для підвищення ККД та зниження викидів доцільно використовувати дизельний двигун, який має кращу паливну ефективність порівняно з бензиновим [1].
- Гібридна трансмісія**.** Складається з двох двигунів-генераторів, планетарної передачі, редуктора та диференціала. Один генератор виробляє електроенергію, інший забезпечує рух автомобіля.
- Система зберігання енергії. Літій-йодові батареї напругою близько 200 В забезпечують тривалу роботу електродвигунів і високу щільність енергії.
- Система керування**.** Центральний електронний блок аналізує робочі параметри та оптимізує взаємодію між ДВЗ, електродвигунами та батареєю [6].

Комбінована схема дозволяє реалізувати різноманітні режими експлуатації, серед яких:

- Електричний режим: рух виключно на електродвигуні при малих швидкостях;
- Комбінований режим: спільна робота ДВЗ і електродвигуна для покращення динаміки;
- Режим рекуперації: генерація електроенергії під час гальмування;
- Підзарядка: робота ДВЗ як генератора при низькому рівні заряду батареї [5].

Переваги комбінованої схеми з планетарною передачею:

- підвищення загального ККД системи; зменшення витрат палива та викидів шкідливих речовин;
- оптимальна робота ДВЗ у різних режимах;
- рекуперація енергії під час гальмування;

- адаптивність до умов руху.

Серед недоліків варто відзначити складність конструкції, високу вартість виробництва та складні алгоритми керування. Проте ці фактори компенсуються високими екологічними та економічними перевагами системи [2, 4].

Висновки. Комбінована гібридна силова установка з планетарною передачею є перспективним напрямом розвитку транспортної техніки. Її конструкція дозволяє поєднати переваги послідовних і паралельних схем, забезпечуючи високу енергоефективність, низькі витрати палива та екологічну безпечність. Реалізація тягово-швидкісного зв'язку дозволяє ефективно розподіляти потужність між компонентами силової установки та адаптувати роботу системи до різних режимів експлуатації, що робить її одним з ключових елементів автомобілів майбутнього.

Список використаних джерел

1. Тімков О.М. Вибір: послідовна, паралельна чи змішана схема силової установки гібридного автомобіля / О.М. Тімков // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2011. – №6. – С. 149–152.

2. Hybrid Vehicle [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.toyota.co.jp entech environment /ths2.

3. Канило П.М. Екологічні проблеми автомобільного транспорту: монографія / П.М. Канило, В.І. Пелепейченко. – Х.: Прапор, 2006. – 113 с.

4. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Сєріков, В.Я. Двадненко. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с

5. Ferguson C.R., Kirkpatrick A.T. Internal Combustion Engines — Applied Thermo-Sciences. – 2nd ed. – New York: John Wiley & Sons, 2001.

6. Сєріков С.А. Теорія управління силовою установкою гібридного автомобіля: дис. на здобуття наук. ступ. докт. тех. наук: спец. 05.22.02 / С.А. Серіков. – Харків, ХНАДУ. – 2013. – 367 с.

Мурований Ігор Сергійович **–** к.т.н., доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Биглюк Назар Васильович **–** магістр кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк.

Murovanyi Igor S. – PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Bygluk Nazar V. **–** Master of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk.

УДК 629.113

І.С. Мурований, І.О. Бузінський

МОДУЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ПЛАТФОРМИ: АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Розглянуто значення показників експлуатаційних властивостей автомобіля як основи для оцінювання його ефективності, надійності та відповідності сучасним вимогам транспорту. До таких показників належать динамічні, паливно-економічні, гальмівні, маневрові, екологічні та ергономічні параметри. Їх аналіз дозволяє визначити оптимальні умови використання транспортного засобу, підвищити продуктивність і безпеку руху. Оцінювання експлуатаційних характеристик має практичне значення на етапах проєктування, експлуатації та технічного обслуговування. Отримані результати застосовують для порівняння техніки різних виробників, розроблення стандартів і вдосконалення технологій експлуатації. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності транспортної системи та розвитку автомобілебудування.

Ключові слова: *експлуатаційні властивості, модульна платформа, конструкція автомобіля, гальмівні властивості, керованість, підвіска, уніфікація, енергоефективність.*

The significance of vehicle performance indicators as a basis for assessing its efficiency, reliability and compliance with modern transport requirements is considered. Such indicators include dynamic, fuel-efficient, braking, maneuvering, environmental and ergonomic parameters. Their analysis allows determining the optimal conditions for using a vehicle, increasing productivity and traffic safety. Assessment of performance characteristics is of practical importance at the stages of design, operation and maintenance. The results obtained are used to compare equipment from different manufacturers, develop standards and improve operating technologies. This approach contributes to increasing the efficiency of the transport system and the development of the automotive industry.

Keywords: *performance properties, modular platform, vehicle design, braking properties, handling, suspension, unification, energy efficiency.*

Експлуатаційні властивості автомобіля є комплексом технічних та функціональних характеристик, які визначають його здатність виконувати транспортні завдання з максимальною ефективністю та безпекою. Вони охоплюють динамічні, паливно-економічні, гальмівні, маневрові, екологічні, ергономічні та інші параметри, що впливають на продуктивність і рентабельність транспортної роботи. Аналіз цих показників є важливим на всіх етапах життєвого циклу транспортного засобу – від проєктування до експлуатації – і дозволяє оптимізувати використання техніки, планувати технічне обслуговування та прогнозувати ресурси.

Гальмівні характеристики визначають ефективність та стабільність уповільнення автомобіля, що безпосередньо впливає на безпеку руху. Вони залежать від коефіцієнта зчеплення шин із дорожнім покриттям, умов експлуатації, стану гальмівної системи та її конструкції. Встановлено, що для забезпечення нормативних параметрів гальмування необхідно враховувати умови дорожнього покриття та вживати заходів для підвищення коефіцієнта зчеплення.

Згідно з Правилом №13 ЄЕК ООН оціночними показниками динамічності автомобіля при гальмуванні є сповільнення $j_{сп}$, шлях гальмування S_r і час гальмування t_r, які визначають із залежностей:

$$j_{сп} = (\varphi \cdot cos\alpha + f \pm sin\alpha) \cdot g, \left(\frac{м}{с^2}\right), \quad (1)$$

$$S_Г = \frac{V_\alpha^2}{2 \cdot g \cdot (\varphi \cdot cos\alpha + f \pm sin\alpha)}, (м), \quad (2)$$

де φ - коефіцієнт зчеплення коліс з полотном дороги;
α - кут нахилу полотна дороги, град;
f - коефіцієнт опору кочення.

Стійкість автомобіля характеризується його здатністю зберігати рівновагу під час руху на криволінійних ділянках траси. Критичні швидкості руху визначаються з умов бокового ковзання

або перекидання, і для забезпечення безпеки повинні бути меншими за допустимі експлуатаційні значення.

В якості оціночних показників поперечної стійкості автомобіля приймають критичну швидкість руху по кривій, виходячи із умови бокового перекидання $V_{пер}$ і бокового ковзання (заносу) $V_{ковз}$, які визначаються за формулами:

$$V_{\text{пер}} = \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot B}{2 \cdot h_g}}\ , (\text{м/с}), \tag{3}$$

$$V_{\text{ковз}} = \sqrt{g \cdot R \cdot \varphi}\ , (\text{м/с}), \tag{4}$$

де R - радіус повороту автомобіля, м;
B - колія автомобіля, м;
h_g - висота центра маси автомобіля, м;
φ - коефіцієнт зчеплення.

Керованість – це здатність автомобіля зберігати та змінювати напрямок руху відповідно до керуючих дій водія. Її забезпечують правильна робота рульового механізму, оптимальне співвідношення між кутами повороту керованих коліс, стабілізація руху та наявність зворотного зв'язку. Визначення критичної швидкості повороту є ключовим етапом оцінки керованості транспортного засобу.

Величина $V_{кер}$ визначається із залежності:

$$V_{\text{кер}} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{\varphi_д^2 - f^2}}{tg\theta} - f\right) \cdot L \cdot cos\theta \cdot g}\ , \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right), \tag{5}$$

де φ- коефіцієнт зчеплення шин з дорогою (φ = 0,15; 0,5; 0,8 для льоду, мокрого та сухого асфальту);
f = 0,02 - коефіцієнт опору кочення;
L - база автобуса, м;
θ - максимальний середній кут повороту керованих коліс автобуса ($\theta = 35°$).

Підвіска впливає на комфорт, стійкість та плавність руху автомобіля. Вибір її конструкції залежить від умов експлуатації, типу дороги та призначення транспортного засобу. У сучасних автомобілях застосовуються різні кінематичні схеми підвіски – від залежних до незалежних з пружними елементами змінної жорсткості.

Правильне проєктування підвіски забезпечує оптимальний розподіл навантажень, покращує маневреність і підвищує безпеку руху. Модульна архітектура транспортних засобів є однією з найважливіших інновацій сучасного автомобілебудування. Вона базується на концепції уніфікації та стандартизації конструкційних елементів транспортного засобу, що дозволяє на основі єдиної базової платформи створювати широкий спектр моделей різного призначення – від легкових і комерційних автомобілів до спеціалізованого транспорту. Такий підхід забезпечує високу технологічну гнучкість, скорочення витрат, швидке впровадження нових технічних рішень і значно спрощує виробничі процеси.

Основою модульної платформи є базова рама або «архітектурне ядро», до якого приєднуються функціональні модулі: силова установка, ходова частина, кузовні елементи, електронні системи тощо. Усі модулі створюються за принципом взаємозамінності та сумісності, що дозволяє виробникам легко комбінувати їх залежно від потреб ринку або технічного завдання. У більшості випадків застосовується так званий «матричний» підхід, коли кілька основних вузлів можуть бути використані в десятках моделей без значних змін конструкції.

Типова транспортна модульна платформа включає:

- Базову конструкцію (шасі або несучу раму): забезпечує структурну жорсткість та є основою для кріплення всіх інших компонентів.
- Силовий модуль: може містити двигун внутрішнього згоряння, електродвигун або їх комбінацію у вигляді гібридної установки. Уніфікація силового модуля спрощує модернізацію та перехід на альтернативні джерела енергії.
- Ходову частину: включає підвіску, рульове керування, гальмівну систему та вузли приводу. Її модульна побудова дозволяє змінювати колісну базу та конфігурацію осей.
- Функціональний модуль кузова: визначає кінцеве призначення транспортного засобу – вантажний, пасажирський, спеціальний тощо.
- Інтегровані електронні системи: забезпечують взаємодію між модулями, а також підтримують додаткові функції, такі як телематика, системи допомоги водію (ADAS), автономне керування.

Модульні платформи мають значні техніко-економічні та експлуатаційні переваги порівняно з традиційними конструкціями:

- Гнучкість виробництва. Одна платформа може бути використана для створення десятків моделей різного класу та призначення. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни ринку без суттєвих витрат на розробку нових базових конструкцій.
- Зменшення витрат. Стандартизація вузлів та агрегатів значно скорочує виробничі витрати, спрощує логістику постачання комплектуючих і знижує собівартість технічного обслуговування.
- Швидка модернізація. Уніфікація дозволяє легко інтегрувати нові технології, не змінюючи основну архітектуру. Це особливо важливо в умовах швидкого розвитку електромобільності, систем автономного керування та підключених сервісів.
- Підвищена екологічність. Модульні платформи спрощують перехід на електричні та гібридні приводи, що відповідає сучасним вимогам до зменшення викидів і підвищення енергоефективності.
- Оптимізація життєвого циклу**.** Завдяки можливості оновлення окремих модулів без повного перепроєктування термін експлуатації платформи значно збільшується.

На практиці модульні платформи активно використовуються провідними світовими автовиробниками. Наприклад, платформа Volkswagen MQB (Modularer Querbaukasten) застосовується для широкого спектра моделей – від VW Golf до Skoda Octavia – із різною колісною базою, шириною колії та типами силових агрегатів. Аналогічно платформи Toyota TNGA, Volvo SPA, Hyundai-Kia N3 демонструють ефективність модульного підходу, дозволяючи на одній архітектурі створювати як компактні легкові автомобілі, так і великі кросовери чи електромобілі. Попри численні переваги, модульні платформи мають і певні виклики. Серед основних – складність проєктування універсальної архітектури, здатної витримувати різні навантаження та інтегрувати широкий спектр технологій. Крім того, висока початкова вартість розробки модульної платформи потребує значних інвестицій на етапі проєктування.

Перспективи розвитку модульних платформ пов’язані з подальшою інтеграцією цифрових технологій, створенням так званих «software-defined vehicles» (SDV) – транспортних засобів, функціональність яких значною мірою визначається програмним забезпеченням. Також очікується зростання ролі універсальних платформ, які будуть однаково ефективними для електричних, водневих та гібридних силових установок. У майбутньому модульні архітектури стануть ключовим елементом концепції «транспорт як сервіс» (TaaS), оскільки їхня універсальність і швидкість адаптації ідеально відповідають вимогам ринку мобільності.

Висновки. Аналіз експлуатаційних властивостей автомобіля та конструкції модульних платформ підтверджує, що впровадження модульного підходу є стратегічно важливим напрямом розвитку сучасного транспорту. Використання єдиної базової архітектури дозволяє створювати широкий спектр транспортних засобів, знижувати собівартість їх виробництва та експлуатації, а також забезпечує можливість інтеграції новітніх технологій. Модульні платформи сприяють підвищенню екологічності, енергоефективності та універсальності транспортних засобів, формуючи основу для майбутнього автомобілебудування.

Список використаних джерел

1.Сирота В. І. Основи конструкції автомобілів: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2005. – 280 с.

2. Сирота, В. І. Автомобілі. Основи конструкції, теорія.(Навчальний посібник. – 2-ге видання, виправлене та доповнене). [Текст] / В. І. Сирота, В.П. Сахно; – К.: Арістей, 2008. – 288 с.

3.Сирота В.І., Сахно В.П. Автомобілі. Основи конструкції, теорія. – 2-ге вид. – К.: Аристей, 2011. – 356 с.

4. Основенко М.Ю., Сахно В.П. Автомобілі: Навч. Посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 344 с.

5. Скіданов В.М., Забава Т.О. Концепція гібридного тягового приводу для автономного електротранспорту // Управління розвитком складних систем. – 2010. – Вип. 2. – С. 70–75.

6. Павленко В.М., Богдан В.І. Гібридні силові установки для сучасних автомобілів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – №5. – С. 108–111.

7. Режим доступу: https://www.pwc.com/jp/en/knowledge/column/definition-of-sdv.html

8. Режим доступу: https://www.comodif.com/blog/transportation-as-a-service-mobility-simplified

Мурований Ігор Сергійович **–** к.т.н., доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Бузінський Ігор Олександрович **–** магістр кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк.

Murovanyi Igor S. – PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Buzinsky Ihor O. **–** Master of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk.

УДК 629.3

І.С. Мурований, М.В. Васюхник

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ

Розглянуто основні напрями підвищення ефективності транспортного процесу перевезення вантажів. Визначено чинники, що впливають на вибір схеми доставки: час, вартість, надійність і сервіс. Проведено аналіз собівартості міжнародних автомобільних перевезень і запропоновано шляхи її зниження за рахунок цифровізації, оптимізації маршрутів та застосування логістичних моделей управління перевезеннями.

Ключові слова: *ефективність перевезень, маршрутизація, логістичне управління, собівартість, час доставки, транспортні витрати.*

The main directions for improving the efficiency of the freight transportation process are considered. The factors influencing the choice of the delivery scheme – time, cost, reliability, and service – are identified. The cost structure of international road transport is analyzed, and ways to reduce it are proposed through digitalization, route optimization, and the application of logistic transportation management models.

Keywords*: transportation efficiency, routing, logistic management, cost, delivery time, transport expenses.*

У сучасних умовах ринкової конкуренції, зокрема в сфері міжнародних вантажних перевезень, зростає рівень вимог з боку клієнтів. Внаслідок цього підприємства, що надають транспортні послуги, повинні діяти динамічно та гнучко, адаптуючись до змін як внутрішнього, так і зовнішнього середовища. Вони мають орієнтуватися на забезпечення такого рівня якості обслуговування, який задовольняє потреби й очікування споживачів. Сьогодні клієнти особливо цінують такі характеристики транспортних послуг, як терміни доставки, гарантію отримання товару в точно обумовлений строк, а також надійну інформаційну підтримку на всіх етапах здійснення перевезення. Стандарти обслуговування стають дедалі жорсткішими, що змушує транспортні компанії концентрувати зусилля на виконанні цих вимог.

Одним із ключових завдань управління в транспортному секторі є організація та виконання маршруту перевезення, що передбачає використання сучасних інформаційних технологій. Сучасні підходи до моделювання маршрутів включають застосування алгоритмів оптимізації, а також використання засобів комп'ютерної техніки та засобів зв'язку для вирішення логістичних задач. Для визначення критерію оптимальності у маршрутизації зазвичай використовують кількісні характеристики перевізного процесу: обсяг та масу вантажів, граничну кількість використаних транспортних засобів, загальний обсяг транспортної роботи, сумарний пробіг і тривалість роботи тощо. Задача маршрутизації нерозривно пов'язана з вибором схеми доставки. Тому корисним є підхід, у якому такі етапи: вибір критерію, порівняння альтернативних схем за цим критерієм і оцінка їх ефективності. За експертними оцінками, 40 % замовників орієнтуються на оптимальне співвідношення між часом доставки і вартістю, 43 % — насамперед на вартість, тоді як для 12 % клієнтів головним чинником є саме термін доставки (рис.1). Найважливішим чинником, що впливає на рішення клієнта в обранні транспортної компанії, залишається час доставки.

При прийнятті рішення щодо вибору схеми доставки вантажів враховуються складові часу транспортного циклу, що формуються за результатами статистичних спостережень та аналітичних розрахунків. До них належать такі показники:

- середній час доставки вантажу в магістральному сполученні з урахуванням простоїв на державному кордоні — 3 доби;
- середній час простою під завантаженням і митним оформленням у пункті відправлення автомобіля, що здійснює міжнародне перевезення (для країн Західної Європи) — 1 доба;
- середній час простою під розвантаженням і митним оформленням у пункті призначення (для України), включаючи подачу транспортного засобу під розвантаження в межах міста — 2 доби;

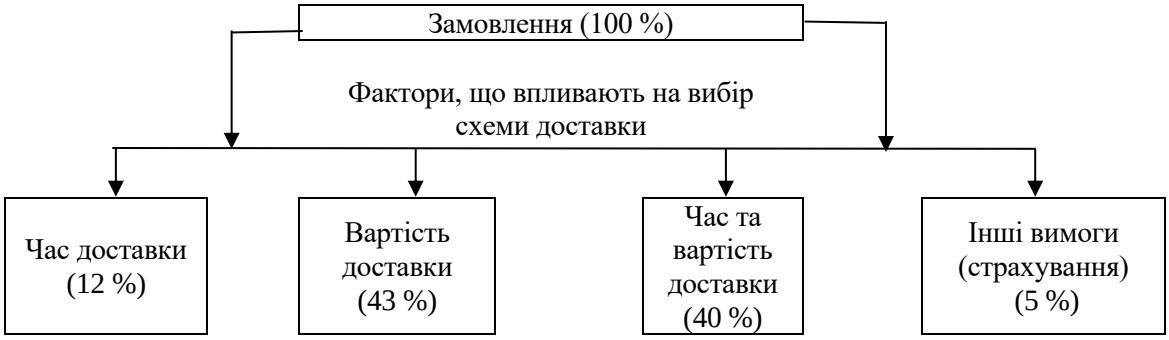


Рисунок 1– Вибір схеми доставки вантажів з урахуванням факторів, що впливають на рішення замовника транспортної послуги щодо вибору її виконавця

- середній час руху між пунктами відправлення (призначення) дрібних партій вантажу, розташованих у різних містах, — 1 доба;
- середній час на розвантаження та прийом вантажу на митний ліцензійний склад — 1 доба;
- середній час на оформлення вантажної митної декларації на митному ліцензійному складі — 2 доби;
- середній час доставки дрібних відправок від вантажовідправника до терміналу (Німеччина), з урахуванням навантажувально-розвантажувальних робіт і митного оформлення у пункті відправлення — 1 доба;
- середній час доставки від терміналу до вантажоодержувача — 1 доба;
- додатковий час простоїв у вихідні дні в Німеччині, Польщі, Україні та інших країнах, що приймається в середньому на кожні 5 днів роботи, — 2 доби.

Сумарна тривалість транспортного процесу залежить від комбінації перелічених складових, що визначають загальний час циклу доставки. Врахування цих показників дозволяє коректно оцінити ефективність різних схем перевезення та вибрати оптимальну модель маршрутизації.

Задачі обліку транспортних засобів та контролю за процесом виконання доставки вантажів мають на меті забезпечення оперативного використання вивільненого рухомого складу та підвищення ефективності експлуатації транспортних ресурсів. Їх вирішення належить до сфери оперативного управління перевізним процесом і тісно пов’язане з виконанням замовлень споживачів. У сучасних умовах такі завдання реалізуються за допомогою навігаційних та моніторингових систем, що дозволяють у реальному часі контролювати місцезнаходження транспортних засобів, швидкість руху, тривалість простоїв і стан доставки вантажу. Подібні системи (GPS/GIS, телематичні комплекси, супутниковий моніторинг) широко застосовуються в диспетчерських службах розвинених країн, а останніми роками активно впроваджуються і в Україні.

Побудова комплексної системи управління транспортом дозволяє вирішити завдання скорочення часу доставки, дотримання термінів виконання замовлень, зниження ризиків зриву перевезення та покращення використання рухомого складу. Ключовим елементом вибору раціонального варіанта перевезення є оцінка ефективності транспортного процесу, що здійснюється на основі техніко-економічних показників. Вибір критерію ефективності залежить від типу перевезення, умов експлуатації та виду транспортного засобу. Основними перевагами автомобільного транспорту є гнучкість доставки та висока швидкість перевезень, однак поряд із цим він характеризується значною часткою змінних витрат на одиницю транспортної роботи (пальне, шини, ремонт, заробітна плата водіїв), у той час як постійні витрати (амортизація, накладні, адміністративні витрати) є відносно невеликими.

Автомобільний транспорт оцінюється за експлуатаційно-технічними показниками, до яких належать: габаритні розміри, маса, вантажопідйомність, швидкість, паливна економічність, стабільність, маневреність, динамічні характеристики. Ці параметри, у поєднанні з конкретними умовами експлуатації, визначають вибір типу рухомого складу для певних маршрутів і умов перевезення.

Собівартість перевезень є ключовим показником ефективності транспортного підприємства та визначається як сукупність експлуатаційних витрат, що припадають на одиницю транспортної роботи. Вона формується окремо для кожного виду перевізної діяльності та включає: витрати на паливо, мастильні матеріали, технічне обслуговування, ремонт, шини, амортизацію, накладні витрати, заробітну плату, відрядження, дорожні збори, оплату платних магістралей, страхування та послуги експедиторів.

Зниження собівартості можливе за рахунок усунення нераціональних рейсів, зменшення порожніх пробігів, підвищення коефіцієнта використання вантажопідйомності, механізації вантажних операцій, впровадження енергоощадних технологій і нормування витрат палива.

Найбільшу частку витрат при виконанні міжнародних автомобільних перевезень становлять паливо, заробітна плата водіїв і амортизація рухомого складу (рис.2).



Рисунок 2 – Структура собівартості міжнародних автомобільних перевезень вантажів

Основними напрямами зниження витрат є:

- вибір оптимальних місць заправлення з урахуванням вартості пального в різних країнах;
- скорочення витрат на відрядження шляхом оптимізації часу рейсу;
- зменшення дорожніх зборів завдяки вибору альтернативних маршрутів або застосуванню змішаних (автомобільно-морських, автомобільно-залізничних) перевезень;
- підвищення продуктивності праці персоналу транспортного підприємства.

Оскільки собівартість перевезень безпосередньо залежить від обсягу виконаної транспортної роботи та витрачених на неї коштів, основною умовою її зниження є підвищення продуктивності праці водіїв і працівників транспортних підприємств, а також економія матеріальних ресурсів — зменшення витрат палива, матеріалів, запасних частин тощо.

Важливим напрямом зниження собівартості є також раціоналізація управління автотранспортними підприємствами, що забезпечує скорочення адміністративно-управлінських витрат. Велику роль у зниженні витрат відіграють ефективна організація перевізного процесу та комплексна механізація навантажувально-розвантажувальних робіт, які дозволяють максимально використати вантажопідйомність автомобілів і мінімізувати простої під час виконання операцій. Застосування причепів і напівпричепів значно підвищує продуктивність транспортних засобів і сприяє зростанню коефіцієнта використання пробігу, що безпосередньо знижує собівартість перевезень. Ефективність удосконалення процесів перевезення вантажів характеризує зміну якісного стану транспортної системи та визначає ступінь оптимального функціонування підприємств і організацій, пов’язаних із перевізним процесом. Її визначення

передбачає оцінку економічних результатів діяльності — доходів, витрат, прибутку, рентабельності.

Формами прояву економічної ефективності є:

- підвищення продуктивності праці;
- зниження собівартості перевезень;
- зростання прибутку та рентабельності;
- зменшення матеріаломісткості, трудомісткості та енергомісткості транспортного процесу.

Соціальна ефективність проявляється у покращенні умов праці персоналу, створенні нових робочих місць, скороченні робочого тижня, підвищенні рівня зайнятості населення та загальної безпеки на транспорті. Екологічна ефективність полягає у зниженні обсягів шкідливих викидів у навколишнє середовище, зменшенні шумового забруднення, підвищенні екологічної стійкості транспортних систем і якості життя населення. Основними напрямами підвищення ефективності перевезень вантажів є:

- удосконалення технології перевезення вантажів;
- розробка та впровадження логістичних методів управління перевізними процесами;
- створення алгоритмів прогнозування і планування основних показників перевезень;
- підвищення рівня логістичного сервісу доставки вантажів;
- формування методологічних засад удосконалення транспортних процесів;
- розроблення моделей взаємодії різних видів транспорту і учасників логістичної системи перевезень.

Висновок. Підвищення ефективності транспортного процесу у міжнародних перевезеннях вантажів досягається завдяки впровадженню сучасних логістичних моделей, цифровізації управління та оптимізації маршрутів. Найбільший вплив на собівартість перевезень мають витрати на паливо, заробітну плату водіїв та амортизацію рухомого складу, тому їх зниження є пріоритетним напрямом розвитку. Комплексне удосконалення технології перевезень забезпечує економічну, соціальну й екологічну ефективність діяльності автотранспортних підприємств.

Список використаних джерел

1. Базилюк А.В., Малишкін О.І. Бухгалтерський і податковий облік автотранспорту та перевезень : навч.посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2011. 256 с

2. Скаско О., Недзельська Т. Методи обліку собівартості автотранспортних перевезень. Формування ринкової економіки в Україні : збірник наукових праць. Львів. ЛНУ імені І. Франка. 2019. № 41. С. 409-415

3. Шабан В.Є. Підвищення ефективності міжнародних автомобільних перевезень в Україні: проблеми митної системи та шляхи вирішення. *Технічні науки та технології (журнали ім. Вернадського)*. 2024. №5(2).

Мурований Ігор Сергійович **–** к.т.н., доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Васюхник Максим Вікторович **–** магістр кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк.

Murovanyi Igor S. – PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Vasyukhnyk Maksym V. – Master of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk.

УДК 656.073

І.С. Мурований, В.С. Мельник

АНАЛІЗ РИЗИКІВ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Розглянуто проблематику ризиків у системі доставки вантажів у міжнародному сполученні. Визначено сутність поняття ризику як небезпеки виникнення непередбачених втрат унаслідок змін економічних умов. Проаналізовано основні етапи управління ризиками, які охоплюють їх ідентифікацію, оцінювання, прийняття рішень і розробку заходів щодо мінімізації. Узагальнено класифікацію зовнішніх і внутрішніх ризиків, серед яких виділено регуляторні, фінансові, організаційні та маркетингові. Окрему увагу приділено специфічним ризикам, що виникають у міжнародних автомобільних перевезеннях через складність процедур контролю, митного оформлення, відмінності у нормативно-правових вимогах і ризики співпраці з контрагентами.

Ключові слова *міжнародні перевезення, ризики, зовнішньоекономічна діяльність, транспортні компанії, управління ризиками, страхування, зовнішні та внутрішні ризики, ефективність перевезень, логістика.*

The paper examines the issue of risks in the international freight delivery system. The concept of risk is defined as the possibility of unforeseen losses resulting from changes in economic conditions. The main stages of risk management are analyzed, including identification, assessment, decision-making, and the development of measures to minimize risks. The classification of external and internal risks is summarized, highlighting regulatory, financial, organizational, and marketing types. Particular attention is paid to specific risks arising in international road transport due to complex control procedures, customs clearance, differences in legal requirements, and risks in cooperation with contractors.

Keywords: international transportation, risks, foreign economic activity, transport companies, risk management, insurance, external and internal risks, transport efficiency, logistics.

Діяльність підприємств на зовнішніх ринках неминуче супроводжується різними ризиками, які можуть загрожувати майновим інтересам учасників зовнішньоекономічної діяльності (ЗЕД). Ризик слід розглядати як імовірність виникнення непередбачених втрат прибутку, доходу, активів або фінансових ресурсів унаслідок змін економічного середовища чи впливу несприятливих обставин. Його рівень визначається частотою та вірогідністю настання певних негативних наслідків.

Ефективна система управління зовнішньоекономічними ризиками передбачає послідовне виконання таких етапів: аналіз поточної ситуації та ідентифікацію можливих ризиків; оцінювання масштабів можливих втрат і прийняття управлінських рішень; реалізацію обраної стратегії та контроль її результатів.

Політика підприємства щодо потенційних ризиків може реалізовуватися у кількох формах:

- уникнення ризику – відмова від діяльності, що може спричинити негативні наслідки;
- прийняття ризику – усвідомлене взяття на себе відповідальності за здійснення операції та її можливі наслідки;
- зменшення ризику – впровадження заходів, спрямованих на мінімізацію можливих збитків;
- передача ризику – делегування відповідальності партнеру чи третій стороні (наприклад, через страхування або договірні умови).

Автотранспортні підприємства стикаються з ризиками як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі. Їх спектр охоплює як внутрішні загрози (помилки в управлінні, порушення трудової дисципліни, технічні несправності), так і зовнішні фактори – природні катаклізми, політичну нестабільність, зміни у законодавстві чи валютні коливання. Тому під час організації транспортного процесу важливо здійснювати системний аналіз причин виникнення ризиків і розробляти превентивні заходи щодо їх мінімізації, алгоритм якого наведений на рисунку 1.

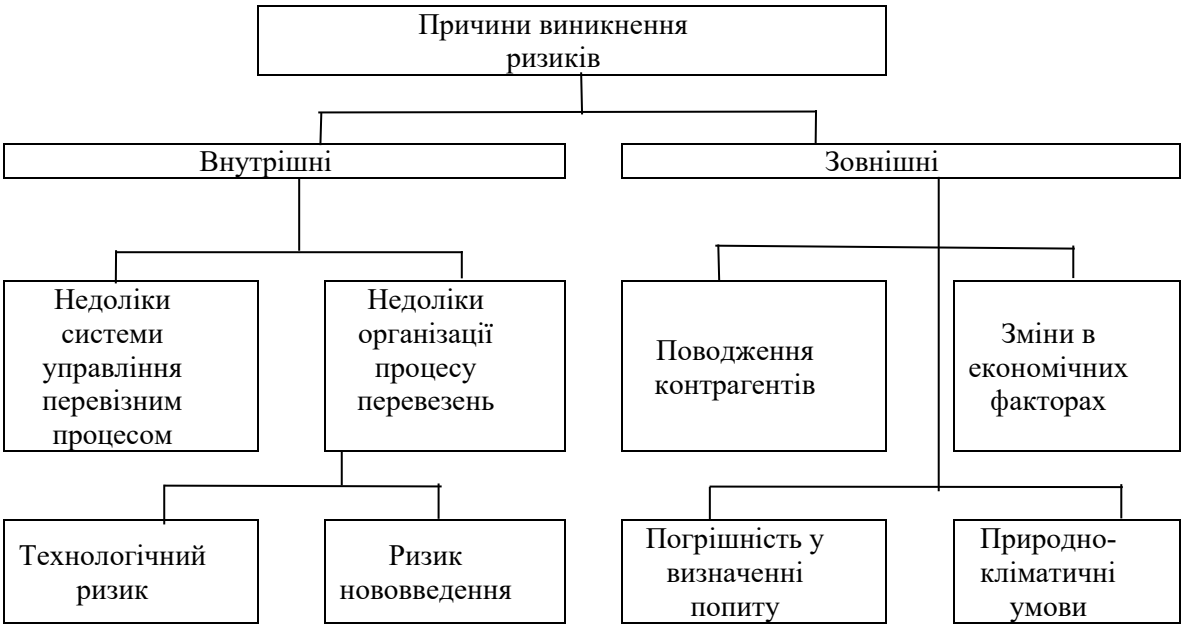


Рисунок 1 – До аналізу причин виникнення ризиків

Ризиками не лише можна, а й необхідно управляти, застосовуючи комплекс методів і заходів, спрямованих на їх попередження або мінімізацію наслідків. Ефективність системи управління ризиками значною мірою залежить від професійної компетентності, досвіду та аналітичних здібностей керівників і фахівців, які приймають рішення та здійснюють оцінку можливих загроз для підприємства. Основні етапи аналізу ризиків наведені на рисунку 2.

Бізнес автоперевізників є надзвичайно чутливим до різних ризиків, кожен із яких окремо або у взаємодії з іншими може спричинити фінансові втрати, затримати окупність інвестицій чи навіть призвести до банкрутства підприємства. За характером виникнення підприємницькі ризики поділяються на зовнішні та внутрішні.

Зовнішні ризики формуються під впливом чинників, що знаходяться поза межами контролю підприємства. До них належать непередбачені зміни законодавства, коливання економічної ситуації, політична нестабільність, інфляційні процеси та інші фактори зовнішнього середовища. Автотранспортне підприємство не може впливати на ці обставини, однак повинно завчасно ідентифікувати їх, прогнозувати можливі наслідки й адаптувати свою діяльність для мінімізації потенційних втрат. До зовнішніх ризиків, що суттєво впливають на діяльність автотранспортних підприємств, належать такі основні групи:

1. *Регуляторні ризики*. Часті зміни у законодавстві, вимогах митних, податкових чи транспортних органів створюють додаткове навантаження, особливо для малих перевізників. Зокрема, екологічні стандарти ЄС вимагають використання сучасного та технічно справного автотранспорту, придбання якого є фінансово обтяжливим для малого бізнесу. Кредитування частково вирішує цю проблему, однак через високі відсоткові ставки в Україні оновлення автопарку відбувається повільно, що знижує конкурентоспроможність підприємств.

2. *Фінансово-економічні ризики*. Коливання валютних курсів, нестабільність фінансових ринків і змінна кон'юнктура ринку товарів та послуг призводять до скорочення виробництва й попиту на транспортні перевезення. Так, під час різких змін курсу гривні відбувається спад імпорту, що одразу зменшує обсяги вантажоперевезень. Кризи подібного типу також спричиняють падіння ставок на перевезення в середньому на 10–15 %, знижуючи прибутковість галузі.

3. *Комерційні ризики.* Одним із найпоширеніших зовнішніх ризиків є затримка або відмова від оплати транспортних послуг експедиторами чи замовниками. Щоб уникнути фінансових

втрат, перевізники часто вимагають оплату готівкою після доставки вантажу, а безготівкові розрахунки застосовують лише у разі тривалої співпраці та підтвердженої надійності партнера.

Загалом зовнішні ризики мають системний характер, а тому потребують постійного моніторингу ринкової та регуляторної ситуації, адаптації стратегії управління й розробки захисних механізмів для забезпечення стабільності роботи підприємства.



Рисунок 2 – Основні етапи аналізу ризиків

Внутрішні ризики автотранспортних підприємств формуються безпосередньо всередині організації та зумовлені якістю управління, ефективністю маркетингової політики й організаційною культурою. Такі ризики часто є наслідком нераціональних управлінських рішень, помилок у плануванні або зловживань персоналу.

Серед основних внутрішніх ризиків варто виділити:

1. Людський фактор. Від професійності, дисципліни та відповідальності водіїв і керівного персоналу залежить стабільність роботи підприємства. Порушення трудової дисципліни, неузгодженість дій або недбалість окремих працівників можуть призвести до зриву рейсів, втрати клієнтів і фінансових збитків.
2. Демпінгову політику. У спробі залучити клієнтів деякі перевізники штучно знижують вартість послуг, що у довгостроковій перспективі призводить до дефіциту обігових коштів, неможливості утримувати автопарк у належному стані й, зрештою, до банкрутства.

Для зниження негативного впливу ризиків підприємства застосовують систему методів управління, серед яких:

- страхування – використання страхових полісів і договорів для покриття потенційних збитків;
- хеджування – захист від фінансових ризиків шляхом укладання ф'ючерсних контрактів чи опціонів;
- удосконалення розрахунково-кредитних відносин – мінімізація ризику неплатежів за надані послуги;

– аналіз і прогнозування ринкової кон'юнктури – моніторинг попиту, пропозиції та цін для своєчасного реагування на зміни ринку;
– диверсифікація діяльності – розширення напрямів роботи для зменшення залежності від окремого виду перевезень.

За тривалістю дії ризики поділяють на короткострокові (транспортні, фінансові чи договірні, що виникають у межах конкретної операції) та постійні, які супроводжують діяльність підприємства у певній галузі чи регіоні (наприклад, ризик неплатежів у країнах із недосконалою правовою системою).

Ефективне управління ризиками можливе лише за умови їх комплексного підходу – поєднання фінансових, організаційних і маркетингових інструментів. У сфері міжнародних автомобільних перевезень, де концентрація ризиків особливо висока, підприємства стикаються з регуляторними бар'єрами, митними процедурами, відмінностями у законодавстві, складними умовами перетину кордонів і бюрократичними перепонами. Це зумовлює потребу у чіткій системі моніторингу ризиків, плануванні превентивних заходів і співпраці з надійними партнерами.

Важливу роль у цьому відіграють маркетингові ризики, серед яких:
– помилкова оцінка конкурентоспроможності послуг;
– невдалий вибір ділових партнерів;
– недооцінка умов угоди чи зміни споживчої поведінки.

Успіх транспортної компанії на міжнародному ринку залежить від уміння створювати високу споживчу цінність своїх послуг і забезпечувати стратегічні конкурентні переваги. Надійність партнерів, чіткість договірних умов і грамотне управління ризиками формують основу стабільного розвитку підприємств і підвищують їхню ефективність у глобальному транспортно-логістичному середовищі.

Висновок. Управління ризиками в системі міжнародних вантажних перевезень є необхідною умовою стабільного функціонування автотранспортних підприємств. Високий рівень невизначеності на ринку, регуляторні зміни, коливання попиту та людський фактор зумовлюють потребу у системному підході до ідентифікації, оцінки та мінімізації ризиків.

Ефективне поєднання фінансових, організаційних і маркетингових методів управління дозволяє зменшити можливі збитки та забезпечити конкурентні переваги українських перевізників на міжнародному ринку транспортних послуг.

Список використаних джерел

1. Погрібняк, О. М. Сучасні умови та особливості правового регулювання перевезень вантажів автомобільним транспортом України / О. М. Погрібняк, А. С. Дорош, Є. Б. Демченко // Транспортні системи і технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2018. – Вип. 16. – С. 83–92.

2. Чупайленко О.А., Колесник Ю.О. Ризики під час доставки вантажів у міжнародному сполученні// Міжнародна наукова конференція «Особливості інноваційного розвитку у сфері техніки: порівняльний досвід України та Європейського Союзу». 2022. Влоцлавек. Республіка Польща. С. 154-159

3. Кузьмін О.Є., Подольчак Н.Ю. Врахування фактору ризику при плануванні зовнішньоекономічної діяльності//Вісник Львівської політехніки. № 11. 2018. С. 43-48

4. Тарельник, Н. В. (2021). Класифікація ризиків під час вантажних перевезень автомобільним транспортом. Вісник Вінницького політехнічного інституту, (№ 4), с. 93–98

Мурований Ігор Сергійович **–** к.т.н., доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Мельник Василь Степанович **–** магістр кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк.

Murovanyi Igor S. – PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, e-mail: igor_lntu@ukr.net.

Melnyk Vasyl S. – Master of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk.

УДК 629.33:004.9:658.5

Т.М. Надич, В.В. Аулін, А.В. Гриньків

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ КІБЕРФІЗИЧНОГО ПІДХОДУ

Розглянуто підвищення ефективності системи технічного сервісу вантажних автомобілів на основі вдосконалення нормативно-документального та інформаційного забезпечення. Встановлено, що ефективність окремих підсистем технічного сервісу безпосередньо залежить від рівня їх розвитку, частка яких у загальному технологічному процесі становить близько 40 %. Запропоновано використання інформаційної бази, що забезпечує скорочення часу обробки інформації вдвічі та зменшення тривалості технологічного циклу на 20 %. Доведено доцільність автоматизації управління технічним станом машин на основі результатів технічної діагностики з використанням сучасних інформаційних технологій і кіберфізичних систем. Особливу увагу приділено розробленню інтелектуальних інформаційних систем та експертних систем, заснованих на знаннях фахівців галузі, що сприяють підтримці прийняття рішень під час технічного обслуговування. Запропоновано методику створення інформаційної бази технічного обслуговування і ремонту для підприємств автомобільного транспорту, яка підвищує продуктивність праці персоналу та загальну ефективність виробництва.

Ключові слова: *технічний сервіс, вантажний автомобіль, інформаційне забезпечення, нормативно-документальне забезпечення, інформаційна база, кіберфізична система, інтелектуальна інформаційна система, технічна діагностика, автоматизація технічного обслуговування.*

The increase in the efficiency of the technical service system of trucks based on the improvement of regulatory, documentary and information support is considered. It is established that the efficiency of individual subsystems of technical service directly depends on the level of their development, the share of which in the overall technological process is about 40%. The use of an information base is proposed, which ensures a halving of information processing time and a 20% reduction in the duration of the technological cycle. The feasibility of automating the management of the technical condition of machines based on the results of technical diagnostics using modern information technologies and cyber-physical systems is proven. Special attention is paid to the development of intelligent information systems and expert systems based on the knowledge of industry specialists that contribute to decision-making support during technical maintenance. A methodology for creating an information base for technical maintenance and repair for road transport enterprises is proposed, which increases personnel productivity and overall production efficiency.

Keywords: *technical service, truck, information support, regulatory and documentary support, information base, cyber-physical system, intelligent information system, technical diagnostics, automation of technical maintenance.*

Система технічного сервісу сприяє підвищенню ефективності експлуатації машин. Досягнення високої результативності функціонування цієї системи можливе завдяки узгодженій взаємодії всіх її структурних елементів, а також удосконаленню нормативно-документального (НДЗ) та інформаційного забезпечення (ІЗ). З цією метою було виділено підсистему завдань технічного сервісу, на вирішення яких істотно впливають розроблені НДЗ та ІЗ. Взаємозв'язок завдань технічного сервісу з НДЗ та ІЗ наведено на рисунку 1.

Ефективність роботи підсистеми (2) безпосередньо визначається якістю функціонування НДЗ і ІЗ і, своєю чергою, сприяє підвищенню результативності виконання завдань (1, 3). Вплив НДЗ та ІЗ на ефективність діяльності підсистем (4-9) оцінюється на рівні 50...60 %. Поліпшення функціонування підсистем (1-4, 5-9) зумовлює зростання якості та надійності експлуатованої техніки, що проявляється у збільшенні середнього напрацювання на відмову. Оптимізація процесів технічного обслуговування (ТО) вантажних автомобілів (ВА) дає змогу не лише підвищити якісні та надійнісні показники техніки, але й скоротити тривалість простоїв за рахунок зменшення часу, необхідного для проведення ТО.

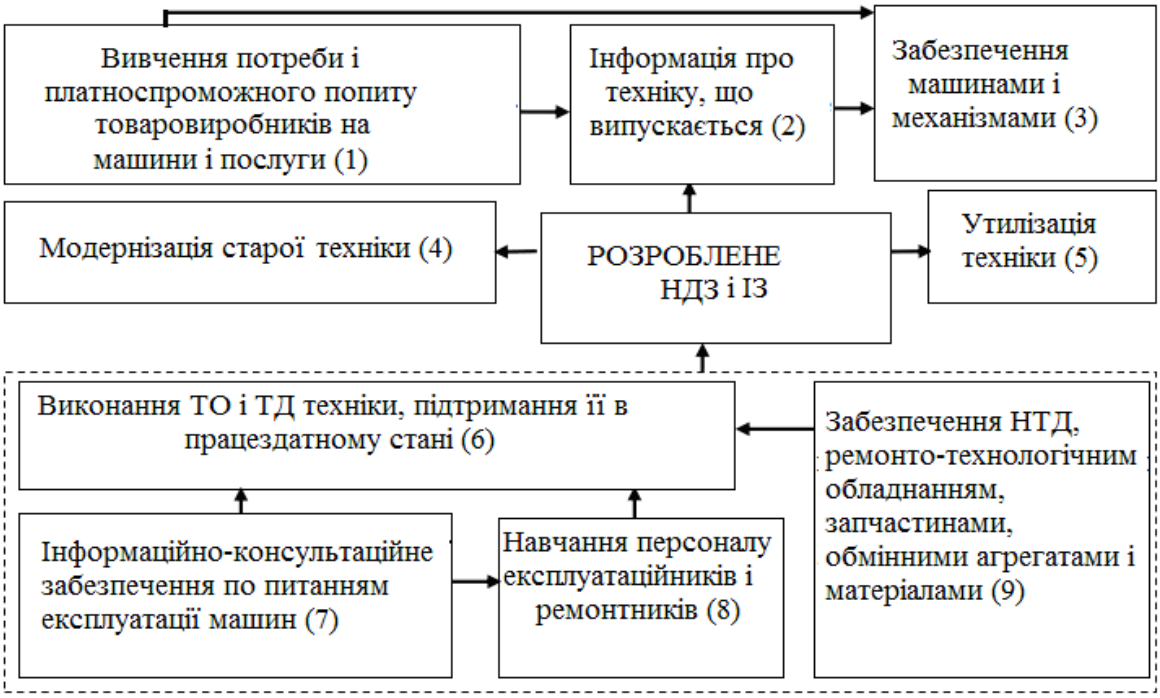


Рисунок 1 – Взаємодія нормативно-документального та інформаційного забезпечення із завданнями технічного сервісу вантажних автомобілів

Сучасні тенденції розвитку систем технічного сервісу орієнтовані на використання більш досконалих схем управління процесами ТО, що передбачають визначення технічного стану вузлів шляхом інструментального контролю.

Перспективним напрямом є автоматизація управління процесами ТО на основі результатів технічної діагностики (ТД) вузлів і з'єднань, що потребує інтеграції сучасних інформаційних технологій на всіх рівнях виробництва — від бортових електронних систем машини до інформаційних підсистем кіберфізичної системи (КФС) технічного сервісу.

Аналіз процесів управління технічним станом ВА дозволяє визначити значущість і необхідність застосування інформаційних даних для обґрунтованого прийняття рішень. У загальному вигляді процес управління технічним станом конкретного автомобіля охоплює вимірювання параметрів стану його складових частин, порівняння отриманих значень із допустимими чи граничними, оцінювання залишкового ресурсу елементів, визначення виду та обсягу обслуговуючих впливів, а також виконання всіх передбачених робіт із ТО ВА та його компонентів.

У результаті досліджень запропоновано впроваджувати інформаційні технології на всіх етапах технічного обслуговування, зокрема із використанням баз даних та баз знань фахівців (рис. 2).

На сьогодні значна частина рішень під час проведення ТО ВА залишається за оператором, а отже, залежить від його професійної підготовки та досвіду. Тому особливої уваги потребує розроблення систем НДЗ і ІЗ, орієнтованих на підтримку інтелектуальної діяльності оператора під час виконання комплексу обслуговувальних робіт. Одним із перспективних напрямів у цьому контексті є створення експертних систем для конкретних предметних областей.

Перевага цього підходу полягає в тому, що інтелектуальні інформаційні системи (ІІС) ґрунтуються на знаннях фахівців різних напрямів – конструкторів, випробувачів, експлуатаційників, тобто експертів у галузі. Найбільш ефективною формою реалізації таких систем є КФС технічного сервісу. Їх бази знань мають високу адаптивність – легко поповнюються новими даними та можуть без ускладнень тиражуватися.

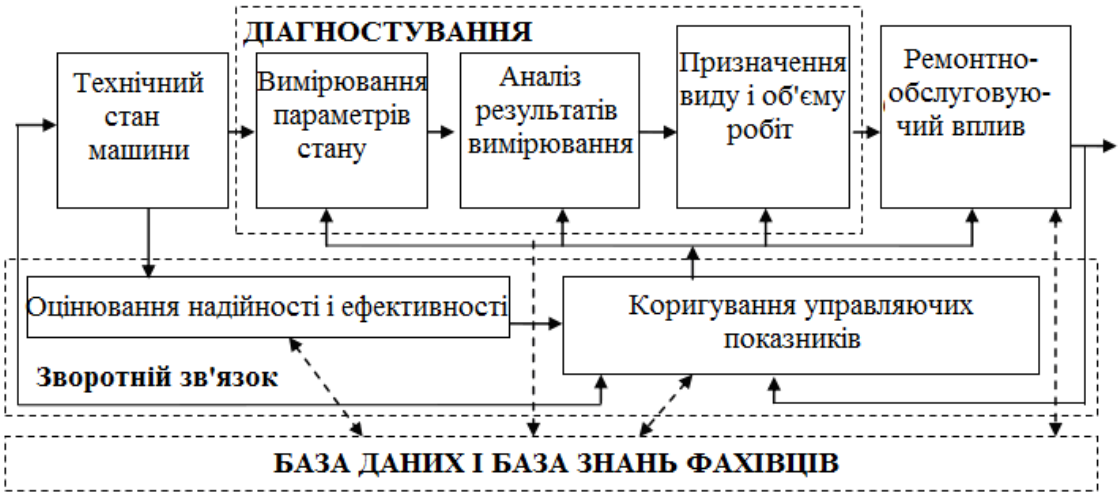


Рисунок 2 – Схема управління технічним станом вантажних автомобілів

Світовий досвід підтверджує, що створення ІІС або КФС, спрямованих на підтримку інтелектуальної діяльності, є складною науково-технічною задачею. У сфері експлуатації вантажних автомобілів ці питання досліджувалися переважно фрагментарно. Основними чинниками, що стримують практичне впровадження подібних систем, залишаються складність формалізації знань предметних областей та відсутність відпрацьованих інженерних методів проєктування таких систем. На сьогодні на ринку відсутні інформаційні бази цього класу. Водночас світові тенденції свідчать, що інтеграція систем НДЗ і ІЗ у життєвий цикл технічної системи є одним із ключових напрямів підвищення якості управління системами технічного сервісу.

Отже, для підвищення ефективності використання вантажних автомобілів та зниження експлуатаційних витрат актуальним є вдосконалення методів технічного обслуговування шляхом розроблення та впровадження ІІС і КФС технічного сервісу, призначених для підтримки прийняття рішень під час виконання робіт із ТО.

Існує можливість створення на рівні окремого підприємства власної інформаційної бази (ІБ) технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р). Запропонована методика може бути ефективно застосована під час формування конкретної інформаційної системи ТО на будь-якому автомобільному транспортному підприємстві (АТП).

Рівень ефективності ІБ безпосередньо залежить від її структури — кількості та складу автоматизованих робочих місць (АРМ), переліку завдань, що вирішуються, а також від характеристик використовуваних технічних засобів. Застосування ІБ забезпечує підвищення продуктивності праці не лише персоналу, але й ефективності роботи виробництва в цілому.

Список використаних джерел

1. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, С. В. Лисенко [та ін.] // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів : науковий журнал. - Харьків : ХНТУСГ, 2020. - № 22. - С. 162-174.

2. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). С.331-343.

3. Victor Aulin, Oleg Lyashuk, Serhii Lysenko, Oleg Tson, Andrii Hrynkiv, Nataliia Rozhko. Extension of the service term of the resource-determining elements of vehicle units based on the artificial neural network model of their defects. Procedia Structural Integrity 59 (2024) 436–443.

4. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.] ; під заг. ред. В. В. Ауліна. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. - 428с.

Надич Тарас Миколайович **–** аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: tnadych@gmail.com

Аулін Віктор Васильович **–** д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: aulinvv@gmail.com

Гриньків Андрій Вікторович – к.т.н., старший дослідник, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Nadych Taras M. – postgraduate student of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: tnadych@gmail.com

Aulin Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: aulinvv@gmail.com

Hrynkiv Andrii V. – Ph.D., Senior Researcher, Senior Lecturer, Department of Machine Operation and Repair, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

УДК 656.2:519.87

В.М. Никончук, О.О. Жинський

ОПТИМІЗАЦІЯ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ТРАНСПОРТНИХ МАГІСТРАЛЯХ МІСТА РІВНЕ

У статті розглянуто теоретичні та практичні аспекти організації та аналізу вантажних потоків на транспортних магістралях міста Рівне. Проведено класифікацію вантажопотоків, моніторинг інтенсивності руху за категоріями транспортних засобів та аналіз основних потоків на Житинському кільці м. Рівне. Наведено розрахунки інтенсивності руху за транспортними засобами та тоннажем, а також запропоновано напрямки оптимізації маршрутів із використанням сучасних інформаційних технологій.

Ключові слова: *вантажний транспорт, транспортні потоки, інтенсивність руху, оптимізація, міська логістика.*

The article examines theoretical and practical aspects of organization and analysis of cargo flows on the main transport routes of Rivne. The classification of cargo flows, monitoring of traffic intensity by vehicle categories, and analysis of the main flows at the Zhytynsky traffic circle in Rivne are presented. Calculations of traffic intensity by vehicle type and cargo tonnage are provided, and directions for route optimization using modern information technologies are proposed.

Keywords: *cargo transport, transport flows, traffic intensity, optimization, urban logistics.*

Зростання транспортної активності у сучасних містах супроводжується значним навантаженням на дорожню інфраструктуру, що впливає на швидкість, безпеку та ефективність перевезень. Вантажні транспортні потоки забезпечують доставку товарів, сировини та продукції, формуючи економічні зв'язки між підприємствами та населенням. Раціональна організація вантажного руху дозволяє поєднувати економічні потреби бізнесу з безпекою та комфортом мешканців міста.

Метою даної роботи є дослідження теоретичних аспектів організації та оптимізації вантажних транспортних потоків у міських умовах, а також визначення основних напрямів підвищення ефективності міської транспортної системи. Для досягнення мети проведено класифікацію потоків, моніторинг інтенсивності руху та аналіз можливостей оптимізації маршрутів із використанням сучасних технологій.

Вантажний потік розглядається як комплексна система, що включає економічний, транспортний та логістичний аспекти. Економічний аспект відображає взаємозв'язки виробництва, обміну та споживання продукції; транспортний – організацію руху вантажів у просторі та часі; логістичний – елемент ланцюга постачання від виробника до кінцевого споживача.

Для ефективного управління вантажним рухом важлива класифікація потоків за територіальною ознакою:

- локальні – перевезення всередині міста,
- регіональні – міжміські та міжрегіональні перевезення,
- транзитні – перевезення через місто без кінцевого споживання на його території.

Такий поділ дозволяє оцінити інтенсивність руху, прогнозувати навантаження на транспортну мережу та планувати логістичні маршрути.

Для оцінки навантаження на транспортну інфраструктуру міста Рівне було проведено експериментальне дослідження вантажних потоків на Житинському кільці, що забезпечує в'їзд/виїзд із міста та проходження транзитного руху. Моніторинг здійснювався у робочі дні (середа–четвер) у два проміжки часу:

- ранковий – 8:00–11:00,
- вечірній – 16:00–19:00.

Вантажні транспортні засоби класифікували за категоріями: 3,5 т, 10 т та 20 т. Для аналізу виділено основні потоки:

Потік 1: Автошля́х Н25 (Городище-Старокостянтинів) → Житинське кільце→ Сарни;

Потік 2: Сарни → Житинське кільце → Автошля́х Н25 (Городище-Старокостянтинів);

Потік 3: Сарни → Житинське кільце → м. Рівне;
Потік 4: м. Рівне → Житинське кільце → Сарни.

Для кожного потоку розраховано середню кількість транспортних засобів за ранковий та вечірній період.

Результати дослідження представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Протокол спостереження за вантажними потоками на Житинському кільці, м. Рівне

Потік	**Напрямок**	**Період**	**3,5 т**	**10 т**	**20 т**	**Загальна кількість**
Потік 1	Автошля́х Н25 → Житинське кільце → Сарни	Ранок (8–11)	31	13,5	70	114,5
Потік 1	Автошля́х Н25 → Житинське кільце → Сарни	Вечір (16–19)	49,5	25,5	109,5	184,5
Потік 2	м. Сарни → Житинське кільце → Автошля́х Н25	Ранок (8–11)	45,5	24,5	121,5	191,5
Потік 2	м. Сарни → Житинське кільце → Автошля́х Н25	Вечір (16–19)	51	39	172	262
Потік 3	м. Сарни → Житинське кільце → Рівне	Ранок (8–11)	22	23	48	93
Потік 3	м. Сарни → Житинське кільце → м. Рівне	Вечір (16–19)	42,5	35	88	165,5
Потік 4	м. Рівне → Житинське кільце → м. Сарни	Ранок (8–11)	58	27	26,5	111,5
Потік 4	м. Рівне → Житинське кільце → м. Сарни	Вечір (16–19)	26	21	30	77

Для більш точної оцінки навантаження на транспортну інфраструктуру Житинського кільця було розраховано інтенсивність вантажних потоків, яка визначається як кількість транспортних засобів, що проїхали за одиницю часу, або загальна тоннажна маса перевезених вантажів.

Інтенсивність потоку ІІІ (ТЗ/год) розраховується за формулою:

$$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{t}}, \tag{1}$$

де N - кількість транспортних засобів за період спостереження,
t - тривалість періоду в годинах.

Для оцінки інтенсивності вантажного руху за тоннажем використовується формула:

$$I_t = \frac{\sum_i N_i * W_i}{\mathrm{t}}, \tag{2}$$

де N_i — кількість транспортних засобів категорії i,
W_i — середня вантажопідйомність транспортних засобів категорії i,
t — час спостереження у годинах.

На основі проведених спостережень, для потоку 1 (Автошлях Н25 → Житинське кільце → Сарни) ранковий період (8–11 год) має сумарну інтенсивність близько 38,2 ТЗ/год, а тоннажна інтенсивність становить 547,8 т/год. Вечірній період (16–19 год) характеризується підвищеною інтенсивністю: 61,5 ТЗ/год та 615,5 т/год.

Аналогічно проведено розрахунки для інших потоків, що дозволяє оцінити максимальні навантаження на транспортну мережу та визначити пріоритетні напрямки для оптимізації маршрутів та управління вантажним рухом.

Аналіз результатів показує, що найбільше навантаження виникає у вечірній період на Потоках 1 та 2, що обґрунтовує необхідність оптимізації маршрутів.

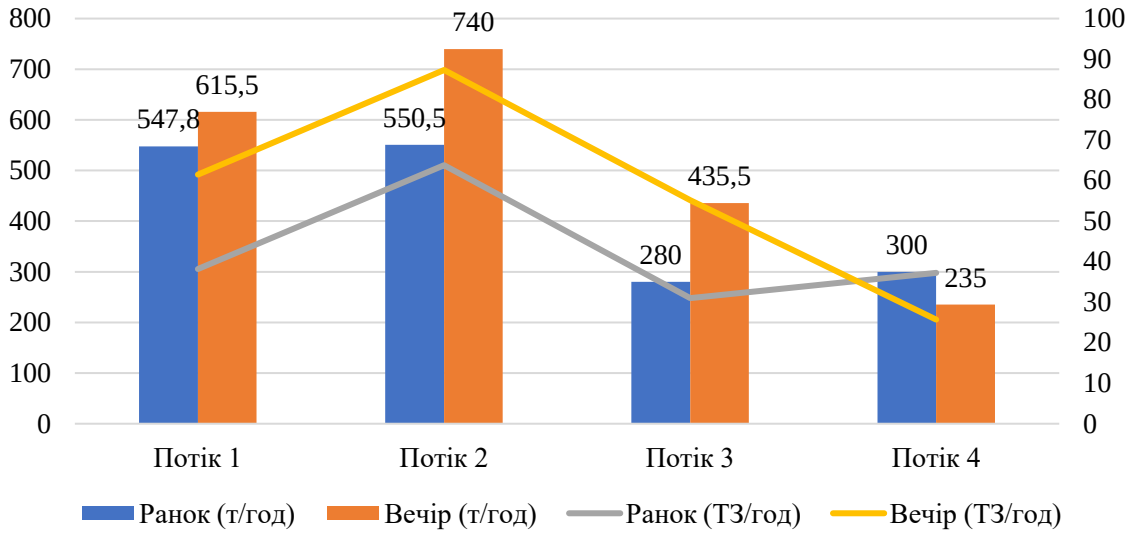


Рисунок 1 – Порівняння інтенсивності вантажних потоків за потоками і часом доби

Можливі заходи включають застосування систем управління трафіком у реальному часі; планування роздільних маршрутів для транзитного та локального руху; використання GPS та телеметрії для моніторингу руху вантажів; інтеграцію логістичних систем підприємств із міською транспортною інфраструктурою. Впровадження таких технологій дозволяє підвищити пропускну спроможність транспортної мережі, зменшити затори та підвищити безпеку та ефективність вантажних перевезень у міських умовах.

Список використаних джерел

1. Козак А. І., Шевченко В. П. Організація та управління транспортними потоками у міських агломераціях : монографія. Київ : КНУТД, 2019. 200 с.
2. Павлов О. М. Моделювання інтенсивності вантажного руху на міських кільцях : підручник. Львів : ЛНУ, 2020. 180 с.
3. Сидоренко І. В., Левченко Т. О. Логістика та оптимізація маршрутів перевезень у містах : монографія. Харків : ХНАДУ, 2018. 150 с.
4. Никончук В. М., Хітров І. О., Пашкевич С. М., Кристопчук М. Є. Теорія та практика розвитку транспортної системи та об’єктів транспортної інфраструктури : монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2024. 172 с.

Никончук Вікторія Миколаївна – д.е.н., професор, професор кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства і природокористування, м. Рівне, e-mail: v.m.nykonchuk@nuwm.edu.ua

Жинський Олександр Олександрович – магістр 2 року навчання кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства і природокористування, м. Рівне, e-mail: zhynskyi_m19@nuwm.edu.ua

Nykonchuk Viktoriia M. – D. Sc (Economics), Professor, Professor of the Department of Transport Technologies and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: v.m.nykonchuk@nuwm.edu.ua

Zhynskyi Oleksandr O. – Master’s student, 2nd year, Department of Transport Technologies and Technical Service, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine; e-mail: zhynskyi_m19@nuwm.edu.ua.

УДК 656.078

Р.Б. Олексієнко, В.О. Огневий

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ МІЖМІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Розглянуто доцільність застосування методики розрахунку техніко-експлуатаційних показників при організації роботи автотранспортних підприємств. Запропонована удосконалена методика планування техніко-експлуатаційних показників актуальна для міжміських перевезень за двома варіантами.

Ключові слова: *автотранспортне підприємство, рухомий склад, техніко-експлуатаційні показники, планування, перевезення.*

The feasibility of using the methodology for calculating technical and operational indicators in organizing the work of motor transport enterprises is considered. The proposed improved methodology for planning technical and operational indicators is relevant for intercity transportation in two variants.

Keywords: *road transport enterprise, rolling stock, technical and operational indicators, planning, transportation.*

На сьогоднішній день існує безліч методів оптимізації роботи рухомого складу і визначення ТЕП його експлуатації. Однак, здебільшого, вони застосовні для планування та оцінки транспортних засобів, що використовуються на міських маршрутах [1].

Процес транспортування являє собою ряд подій, що повторюються в часі і мають повне значення, тому для того, щоб достовірно описати технологічний процес транспортування, необхідно чітко розуміти часовий проміжок, протягом якого відбуваються події.

З урахуванням особливостей умов експлуатації рухомого складу, що експлуатується на міжміських маршрутах, пропонується планувати техніко-експлуатаційні показники його роботи не на добу, а на більш тривалий період часу. Для розрахунку ТЕП може використовуватися рік, півроку, сезон, квартал, місяць, тиждень або час виконання заявки з урахуванням повернення автомобіля в початкову точку маршруту [2].

Представлений в даній роботі метод розрахунку ТЕП зручний для міжміських і міжнародних перевезень, коли час реальної доставки вантажу ($T_{дост}$), розрахований виходячи з кілометражу з вантажем і швидкості руху автомобіля з урахуванням простоїв при навантаженнях і розвантаженнях, простоїв на митниці і т.д., перевищує час використання автомобіля протягом доби ($T_{ва}$): $T_{\text{дост}} \geq T_{\text{ва}}$

У цьому випадку можливі 3 ситуації [2]:

- Клієнт подає заявку без жорсткого обмеження за термінами доставки (Тз не строго визначено замовником, $T_{дост}$ визначається за погодженням з клієнтом виходячи з кількості та вантажопідйомності наявного вільного рухомого складу перевізника).
- Клієнт строго обмежує час доставки, причому до конкретної дати: $T_{\text{дост}} = T_{\text{з}}$
- Замовник строго обмежує верхню межу часу доставки, відправлення повинно бути доставлено до конкретної дати: $T_{\text{дост}} \leq T_{\text{з}}$

Виходячи з вищесказаного, слід зазначити, що методика повинна враховувати час подачі заявки. Нижче наведена методика визначення необхідної кількості рухомого складу і планування техніко-експлуатаційних показників для міжміських перевезень за двома варіантами (рис. 1):

У першому випадку планування і розрахунок техніко-експлуатаційних показників буде проводитися на рік, півроку, сезон, місяць, тиждень або інший зручний для планування часовий проміжок.

У другому випадку методика розрахунку ТЕП за час циклу розрахунку, береться за час подання заявки з урахуванням повернення рухомого складу у вихідну точку маршруту [2]. Якщо портфель замовлень компанії в основному складається з термінових замовлень, зручніше скористатися методом, наведеним нижче. У цьому випадку розрахунковий час циклу - це інтервал часу, що розраховується як сума часу, зазначеного клієнтом для доставки вантажу до точки розвантаження, і часу, необхідного для повернення рухомого складу з точки розвантаження до АТП $T_{звор}$.

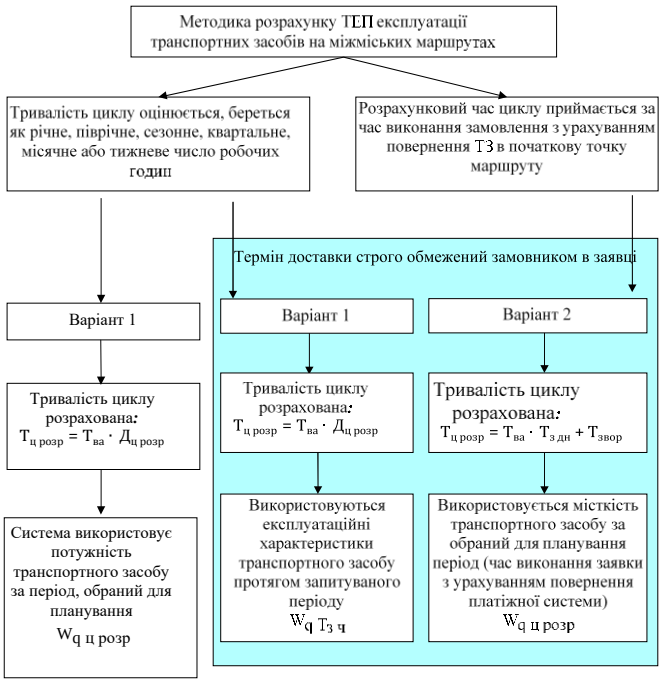


Рисунок 1 - Методика розрахунку ТЕП експлуатації транспортних засобів на міжміських маршрутах

Клієнт сам визначає час виконання замовлення $Т_{з\ дн}$ в днях. На підприємстві час подання заявки на розрахунок ТЕП обчислюється годинами $Т_з$ год, при цьому необхідно враховувати час можливого використання автомобіля протягом доби $Т_{ва}$. Як вже говорилося раніше, показник $Т_{ва}$ – час використання транспортного засобу протягом доби (в годинах), який визначається організацією рухомого складу.

Слід зазначити, що час оборотності рухомого складу $t_{об}$ укладається в терміни розрахованого циклу, а значить, АТП зможе виконати заявку на перевезення вантажу в встановлені клієнтом терміни.

Спочатку розрахунок показників продуктивності транспортних засобів по кожному маршруту проводиться в межах обраного для планування часового інтервалу, в даному випадку для циклу, розрахованого відповідного часу подачі заявки, з урахуванням повернення автомобіля в точку старту.

Список використаних джерел

1. Оліскевич М. Організація автомобільних перевезень. Частина 1. Вантажні перевезення. Навчальний посібник у двох частинах. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 336 с.
2. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах / Г.С. Прокудін. – К.: НТУ, 2006. – 224 с.

Олексієнко Руслан Богданович **–** магістрант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksiyenko@vntu.edu.ua

Огневий Віталій Олександрович **–** к.е.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Ognevoy@ukr.net

Oleksienko Ruslan Bogdanovych – Master's student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksiyenko@vntu.edu.ua

Ognevoy Vitaliy Oleksandrovych – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Ognevoy@ukr.net

УДК 656.078

М.С. Оліскевич, Н.Я. Хомин

ОПТИМІЗАЦІЯ КІЛЬКОСТІ ВОДІЇВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАДАНОГО ОБСЯГУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Дослідження присвячені глобальній проблемі дефіциту водіїв для автомобільних перевезень вантажів і зокрема в Україні. Застосовано метод удосконалення логістики виконання замовлень для сукупності вантажівок і водіїв, які ними керують. Пропонується, відмовитись від закріплення водіїв за транспортними засобами, запровадити змінний метод, а початок і завершення зміни кожного водія розпочинати в пунктах завантаження і розвантаження вантажів. Для пошуку оптимального розкладу роботи водіїв в дослідженні було застосовано модифікований метод впорядкування змішаних диз'юнктивних графів.

Ключові слова: *розклад роботи водіїв, змінний метод, взаємодія водіїв, впорядкування змішаних графів, оптимізація логістики перевезень.*

The research is devoted to the global problem of shortage of drivers for road freight transportation and in particular in Ukraine. The method of improving the logistics of order fulfillment for a set of trucks and drivers who drive them is applied. It is proposed to abandon the assignment of drivers to vehicles, to introduce a variable method, and to start and end the shift of each driver at the points of loading and unloading of goods. To find the optimal schedule of drivers, the study used a modified method of ordering mixed disjunctive graphs.

Keywords: *driver schedule, variable method, driver interaction, ordering mixed graphs, optimization of transportation logistics.*

В Україні існує гострий дефіцит водіїв вантажівок, який становить близько 40 тисяч осіб, що призводить до простою 30% всього наявного автопарку [1]. Основні причини включають мобілізацію, міграцію кадрів за кордон та недостатньо привабливі умови праці, особливо через брак влаштованих місць відпочинку та недостатню кількість бронювань для водіїв. Така ж проблема визнається активною і в інших країнах світу. Для вирішення цієї проблеми експерти транспортної галузі прогнозують успішне застосування удосконалених методів складання розкладів водіїв з врахуванням обмежень за регламентом Європейського Союзу 561/2006, з одного боку, та удосконалення методів організації праці бригад взаємопов'язаних водіїв.

У цьому дослідженні подано спосіб часткового вирішення проблеми дефіциту кваліфікованих водіїв шляхом удосконалення методики побудови оптимальних розкладів бригади водіїв, які обслуговують один парк вантажівок. Так, перевізники щодобово, або й впродовж довшого періоду (2-4 доби) отримують множину замовлень, які потрібно виконати наявним парком вантажівок і закріпленою за ним бригадою водіїв за наперед заданим плановим періодом тривалістю W. Замовлення – це необхідність переміщення гурту вантажів між заданими пунктами транспортної мережі. Якщо перевізник не в змозі виконати замовлення в період W, то він може втратити його разом з клієнтом. Парк вантажівок базується в депо. В окремих випадках є вимога, щоб водій, який виконав чергове замовлення, повернув автомобіль в депо. Однак у цій статті показано, що такі вимоги суттєво обмежують дійсний фонд часу водіїв. Також прийнято припущення, що водії не є закріпленими за вантажівками, а застосовують змінний метод роботи. При цьому водії можуть передавати транспортний засіб своїм напарникам у будь-якому транспортному пункті, через який пролягає маршрут/маршрути доставки вантажів. Головна умова, яку обов'язково повинні виконувати водії – це дотримання режимів роботи відповідно Європейської Угоди про роботу екіпажів транспортних засобів (ЄУТР). Тут виникає основна суперечність забезпечення злагодженої логістики водіїв: тривалість керування транспортним засобом не завжди відповідає тривалості дозволеного часу керування згідно з регламентом. Так само допустима тривалість зміни/міжзмінного і щозмінного відпочинку водія не завжди відповідає тривалості виконання замовлення/декількох замовлень поспіль, через що відбуваються затримки доставки вантажів, або ж дійсний фонд часу водіїв суттєво недовикористовується. При побудові оптимального за швидкодією спільного розкладу роботи бригади водіїв потрібно задіяти максимальну кількість водіїв для виконання N замовлень. Максимальна кількість водіїв P_{max} при найвищій оперативності діяльності перевізника дорівнює

кількості замовлень у період *W*. При цьому водії будуть зайняті не увесь робочий час і проблема їх нестачі загострюватиметься. З іншого боку, водіям можна розподілити завдання так, щоб кожен з них працював максимальну тривалість зміни в межах допустимої і виконував при цьому декілька замовлень поспіль, або їх частини, і при цьому виконувались вимоги ЄУТР, а кількість водіїв у бригаді була б мінімальною. У зв'язку з цим для вирішення сформульованої проблеми було поставлено мету розробити методику оптимізації розкладу роботи бригади водіїв. Для досягнення даної мети необхідно розв'язати дві задачі: 1)розробити методику побудови найщільнішого розкладу групи водіїв при наявності обмежень на тривалість їх роботи і відпочинку; 2)провести дослідження впливу початкових умов і даних на здатність отримати оптимального розкладу виконання водіями транспортного завдання.

Для виконання замовлень перевізник має в підпорядкуванні $P_{\max}$ водіїв і R одиниць вантажівок. Співвідношення $R/P_{\max}>1$, відповідно до постановки проблеми досліджень. На практиці це співвідношення досягає значення 1,3. Отже, для заощадження фондів робочого часу водіїв вони повинні: а)не бути «закріпленими» до конкретного транспортного засобу; б)розпочинати робочу зміну в пункті, який належить найкоротшому маршруту даного замовлення (першого завантаження, транзитного пункту); в)застосовувати змінний метод роботи, тобто передавати транспортний засіб (з вантажем, чи без вантажу) у тих пунктах, моменти прибуття в які найбільше відповідають найбільш повному завантаженні по часу водія. При цьому мають дотримуватись режими праці і відпочинку відповідно до регламентів ЄС 561/2006. Таким чином, якщо відоме замовлення з доставки вантажів $g_i - g_j$ тривалість керування вантажівкою під час якого становить t_j год., а тривалість вантажних робіт – $t_в$ год., то можливі схеми виконання цього замовлення можуть бути такими. Перша схема: водій №1 прийняв вантажівку №1 у пункті g_i, де й здійснив завантаження. Далі водій №1 керує вантажівкою до пункту g_j, де передає її водієві №2. При цьому водій №1 витратив $t_{i,j}$ години робочого часу без перерви на змінний відпочинок і не перевищив при цьому тривалість дозволеного часу безперервного керування (4,5 год.). При цьому робоча зміна водія №1 ще не завершилась, оскільки він може перейняти в естафету іншу вантажівку, яка задіяна у виконанні іншого замовлення. Водій №2 приймає вантажівку №1. Він керує цією вантажівкою до пункту g_k, де бере участь в процесі розвантаження. Водій №2 витрачає при цьому $t_{j.k}$ год. робочого часу, також не перевищує регламент безперервної роботи і готовий розпочати виконання іншого замовлення, що бере початок в пункті g_k. Поїздки без вантажів – відсутні.

Друга схема: водій №1 прийняв вантажівку №1 у пункті g_2, де й здійснив завантаження. Далі водій №1 прибуває транзитним маршрутом через пункт g_j, де мусить зробити зупинку на короткотерміновий відпочинок тривалістю не менше, ніж 45 хв. Після цього водій №1 продовжує рух в напрямку до пункту g_k, де виконує розвантаження вантажу. Після цього водій №1 змушений припинити свою робочу зміну, оскільки її тривалість вже наближається до 9 год., що приблизно дорівнює максимально дозволеному значенню за регламентом ЄС 561/2006. Виконання жодного іншого замовлення з наявних на даній транспортній мережі водій №1 розпочати не зможе.

Для відображення процесу виконання сукупності замовлень на транспортній мережі застосовано методологію впорядкування змішаних графів [2]. Розглядається граф транспортної мережі $H(G, L)$, де G – множина вершин $G=\{D, g_1,\ldots g_Z\}$, (транспортних пунктів), L – множина ребер, – шляхів сполучення (передбачається, що всі шляхи мережі є двосторонніми і тривалість руху по кожному шляху в прямому і зворотному напрямках є однаковими. Є вершина D, яка символізує депо перевізника. На відміну від відомих рішень, тут з D не починаються і не завершуються усі маршрути. В даному випадку депо служить пунктом тимчасового (міжзмінного) зберігання вантажних автомобілів і пунктом їх обслуговування.

Для того, щоб розпочати виконання замовлення з доставки вантажів між пунктами $g_x - g_y$ перевізник повинен мати в пункті g_x вільний автомобіль разом з водієм, або ж така вантажівка повинна вчасно прибути до заданого пункту з найближчого. Таким чином до початкових даних складання розкладу водіїв відносить граф $A(N,U,V)$, де $N=\{S, n_1, n_2,\ldots n_{\max}, F\}$ – множина відомих замовлень на перевезення, S, F – фіктивні вершини, які символізують формальний початок і формальне завершення усього проекту (усіх заданих на період W замовлень), $n_{\max}$ – максимальна кількість замовлень в проекті; U, V – відповідно, множина дуг і ребер графа, кожна з яких символізує послідовність виконання замовлень. Дугам і ребрам графа A надано такий зміст і кількісну оцінку – вагу дуги:

$$a_{i.j} = t_{e.i} + t_{b.j} + t_{e.j}, \quad (1)$$

де $t_{e.i}$, $t_{b.j}$, $t_{e.j}$ – моменти часу, відповідно, найбільш пізнього завершення виконання замовлення n_i, найбільш раннього початку виконання замовлення n_j, найбільш пізнього завершення виконання замовлення n_j.

Таким чином, тривалість виконання замовлення водієм суттєво залежить від того, яке транспортне завдання виконував він перед тим, і чи виконувалось це замовлення іншим водієм у співпраці. Якщо в графі A є ребро $v_{i.j}=\{u_{i.j}, u_{j.i}\}$, то це означає, що замовлення n_i, n_j можуть виконуватись у будь-якому порядку. Однак, для того, щоб визначити однозначний розклад роботи водіїв, потрібно, щоб у графі A були відсутні контури додатної ваги, тобто потрібно виконати умову для будь-якої пари замовлень n_i, n_j:

$$-a_{j.i} \le t_{e.j} - t_{bi} \le a_{i.j}. \quad (2)$$

Якщо в графі A є така дуга $a_{i.j}$, для якої нерівність (2) не виконується, то вона називається конфліктною, і потрібно переглянути граф A для того, щоб дугу видалити.

Також у графі A потрібно переглянути усі ребра й здійснити з кожним з них такі можливі перетворення:

а) видалити ребро $[a_{i.j}]$, що означає що замовлення n_i, та n_j будуть виконуватись різними водіями незалежно;

б) замінити ребро $[a_{i.j}]$ на дугу $(a_{i.j})$, що означає що замовлення n_i буде виконуватись одним і тим ж водієм перед замовленням n_j;

в) замінити ребро $[a_{i.j}]$ на дугу $(a_{j.i})$, що означає що замовлення n_j буде виконуватись одним і тим ж водієм перед замовленням n_i.

Формальний зміст задачі побудови розкладу полягає у тому, що потрібно знайти шляхи ϑ_{ij} для усіх замовлень i,j=1…N. Ваги цих шляхів визначають моменти найбільш пізнього початку виконання кожного i-го замовлення. Для того, щоб шуканий розклад був однозначним (не було часового неузгодження), потрібно дотримуватися умови

$$a_{i.j} \ge t_{e.j} - t_{e.i}. \quad (3)$$

Момент початку виконання будь-якого i-го замовлення шукається із співвідношення:

$$t_{S.i} = \max_j \left\{0, \vartheta_{i.j}\right\}, \quad 1 < j < N, \quad (4)$$

Момент завершення будь-якого i-го замовлення знаходимо з виразу:

$$t_{i.F} = t_{s.i} + a_{i.F} < t_{e.i}. \quad (5)$$

Розклад, для якого для всіх замовлень й усіх автомобілів виконується умова (3) називається активним, а величина $t_{i.F}$, що розрахована за (4), буде найбільш раннім завершенням i-го замовлення. Існує взаємно однозначна відповідність між множиною всіх активних розкладів, що побудовані з графа A і множиною всіх графів, які не містять контурів додатної ваги, отже, однозначним вважаємо розклад, що породжений графом A і не містить контурів додатної ваги, а значить і ребер V [3]. Застосовано послідовний аналіз варіантів з перебором усіх графів з множини допустимих графів, і пошуком серед них оптимального за критерієм мінімальної тривалості проекту при заданій кількості водіїв.

Для того, щоб внести обмеження в розклад водіїв, які задіяні в процесі перевезення з врахуванням вимог регламентів ЄС 561/2006, застосовано дуги з від'ємними вагами $-a_{i.j}$, які відображають обмеження часу виконання замовлень (рис. 1).

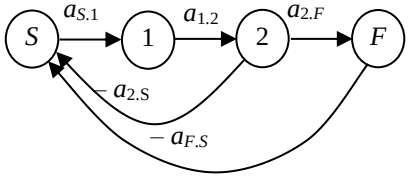


Рисунок 1 – Графічне моделювання обмежень на тривалість операцій: S, F – фіктивні операції, які представляють формальний початок і кінець процесу

Алгоритм був застосовано для трьох варіантів початкових умов: 1) водії не закріплені ні за транспортними засобами, ні до пункту відправлення *D*; 2) водії не закріплені за транспортними засобами, але кожен з них повинен починати і завершувати зміну у пункті *D*; 3) водії закріплені за вантажівками індивідуально, а також мають виїжджати на маршрут і повертатись з рейсу тільки з пункту *D*. У кожному з трьох варіантів початкова кількість водіїв змінювалась від 12 до 6.

Результати моделювання були отримані при застосуванні алгоритму за допустимий час. Результати дають змогу вибрати оптимальний варіант стосовно доступності до людських ресурсів.

Результати розробки розкладів роботи водіїв показують, що вирішальним фактором при плануванні виконання вантажних перевезень є умови та обмеження їх виконання. Якщо водії є закріплені за вантажівками і за пунктом початку і завершення маршрутів, то бригада з 8 таких водіїв зможе виконати транспортне завдання не раніше, як за тиждень з врахуванням необхідного міжзмінного відпочинку. Зменшення кількості обмежень організації роботи водіїв знижує їх нестачу при необхідності оперативно виконати замовлення. Оптимальний розклад при цьому доцільно вибирати при першому варіанті початкових умов. Якщо порівняти тривалість проекту першого і другого варіантів при тій самій кількості водіїв, то у першому варіанті вона, щонайменше удвічі менша, ніж у другому і утричі менша, ніж у другому варіанті.

Таким чином, можна стверджувати, що розроблений алгоритм розроблення розкладів бригади водіїв, які працюють за змінним методом, не прив'язані до місця міжзмінного відпочинку є ефективним способом скорочення тривалості доставки вантажів, підвищення продуктивності праці водіїв, та зменшення їх необхідної кількості. На відміну від відомих методів та відповідних алгоритмів розклад складається для бригади водіїв, враховує регламенти ЄС 561/2006, дає змогу скоротити тривалість маршрутних пробігів.

Застосування параметричного ряду активних розкладів дає змогу прийняти оптимальне рішення стосовно кількості задіяних водіїв. Збільшення кількості водіїв приводить до суттєвого скорочення тривалості проекту. Для першого варіанту умов тривалість виконання усіх замовлень можна зменшити утричі. Але при цьому продуктивність водіїв знижується, кожен з них у бригаді стає більш автономний у роботі, тому інтегративний ефект знижується.

Таким чином, розроблена методика є доступним способом підвищити організацію роботи водіїв і досягти бажаних показників логістики. Водночас стає зрозумілим, що до більшого ефекту запропонована методика складання розкладу може привести, якщо її застосовувати до значно більшого обсягу початкових даних. Це і є перспективою майбутніх досліджень.

Список використаних джерел

1. Овчар Д. О. Ключові аспекти управління персоналом водіїв у підприємствах логістичних провайдерів в умовах економічної нестабільності та кризових ситуацій. *Дороги і мости*, 2025. вип. 31, С.292-304.

2. Otala J., Minard A., Madraki G., Mousavian, S. Graph-based modelling in shop scheduling problems: Review and extensions. *Applied Sciences*, 2021. 11(11), P. 4741.

3. Oliskevych M., Mel'nychenko, O., Khomyn, N. Construction of Active Work Schedule of Trucks Drivers Based on Partially Ordered Mixed Graphs. In *International Scientific Conference Intelligent Transport Systems* (2024, November)*: Ecology, Safety, Quality, Comfort* pp. 148-160.

Оліскевич Мирослав Стефанович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів і тракторів, Львівський національний університет ветеринарної медицини і біотехнологій ім. С.З Гжицького, м. Львів, e-mail: oliskevychm@gmail.com

Хомин Назар Ярославович **–** аспірант Національного транспортного університету, м. Київ, e-mail: nazar.khomyn0037@gmail.com

Oliskevich Myroslav S.– Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Tractors, Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Lviv, e-mail: oliskevychm@gmail.com

Khomin Nazar Ya. – postgraduate student of the National Transport University, Kyiv, e-mail: nazar.khomyn0037@gmail.com

УДК 629.113

В.П. Онищук, С.В. Стельмащук

ВПЛИВ НЕРІВНОМІРНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ НА ЗДВОЄНІЙ ОСІ ПРИЧЕПА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЛЬМУВАННЯ МАЛОТОННАЖНОГО АВТОПОЇЗДА

Розглянуто вплив нерівномірності гальмівних сил на здвоєній осі причепа на уповільнення автопоїзда, гальмівний шлях, а також на стійкість його руху. Показано, що тільки за коефіцієнта нерівномірності гальмівних сил на осях причепа $k_н$= 0,18 автопоїзд відповідає вимогам нормативних документів. При збільшенні нерівномірності гальмівних сил на осях причепа до 30% початкова швидкість гальмування, за якої ще забезпечується стійкість руху автопоїзда зменшилася майже вдвічі від 35,3 до 19,7 м/с. Тому нерівномірність гальмівних сил на осях причепа слід обмежити на рівні 18%.

Ключові слова: *автомобільний поїзд, причіп, нерівномірність гальмівних сил, уповільнення, шлях гальмування, стійкість, початкова швидкість гальмування.*

The influence of uneven braking forces on the double axle of the trailer on the deceleration of the road train, the braking distance, and also on the stability of its movement is considered. It is shown that only with the coefficient of uneven braking forces on the axles of the trailer kn= 0.18 the road train meets the requirements of regulatory documents. When the uneven braking forces on the axles of the trailer increase to 30%, the initial braking speed, at which the stability of the road train movement is still ensured, almost halved from 35.3 to 19.7 m/s. Therefore, the uneven braking forces on the axles of the trailer should be limited to 15%.

Keywords: *road train, trailer, uneven braking forces, deceleration, braking distance, stability, initial braking speed.*

Характер руху автопоїзда принципово відрізняється від руху одиничного автомобіля. Відмінність можна пояснити наявністю додаткових зусиль, що виникають у шарнірному з'єднанні ланок транспортного засобу, а також сил і моментів, які діють на його окремі ланки та рух транспортного засобу в цілому. Особливо помітним є їх вплив при гальмуванні автопоїзда, яке може супроводжуватися складанням ланок та втратою стійкості транспортного засобу [1]. Це пояснюється тим, що у процесі гальмування на автомобіль діють сили та моменти в різних площинах та напрямах. Під їх впливом змінюється навантаження окремих коліс. Вплив бічних сил призводять до перевантаження коліс одного борту транспортного засобу, а також може спричинити відведення або ковзання його коліс. Це може призвести до появи обертового моменту у горизонтальній площині. Поява такого моменту може спричинити занос транспортного засобу, а при гальмуванні автопоїзда – складання його ланок [1-3].

Окрім згаданих факторів, не менш вагомим на стійкість автопоїзда у гальмівному режимі є вплив бортової нерівномірності гальмівних сил. Нерівномірність може виникнути внаслідок порушень регулювання гальмівних механізмів або через вплив зовнішніх факторів (потрапляння вологи, пилу, бруду на робочі поверхні гальмівних механізмів; дефекти у виготовленні гальмівних накладок та ін.). У роботах [1-3] автори акцентують увагу на негативному впливі бортової нерівномірності гальмівних сил на стійкість автомобіля через появу обертового моменту в горизонтальній площині. Автори роботи [3] стверджують, що обертовий момент, спричинений бортовою нерівномірністю гальмівних сил, призводить до бокового відхилення автомобіля навіть при незаблокованих колесах будь-якої осі. На думку дослідників, небезпечною є втрата стійкості автомобіля при гальмуванні без блокування коліс через виникнення бічного відведення транспортного засобу, спричиненого бортовою нерівномірністю гальмівних сил. Науковці стверджують, що в даному випадку навіть антиблокувальна система не в змозі запобігти боковому зміщенню автомобіля та зміні його курсового кута.

У процесі експлуатації автопоїздів особливо небезпечними є екстрені гальмування, оскільки вони, в більшості випадків, супроводжуються блокуванням коліс. В роботах [1-4] доведено, що навіть для одиничних автомобілів при гальмуванні із заблокованими задніми колесами нерівномірність на передній осі не допустима, оскільки вона спричиняє занос транспортного засобу. Автори роботи [2] стверджують про небезпечність з точки зору стійкості екстреного гальмування транспортного засобу з бортовою нерівномірністю гальмівних сил.

Порушення стійкості автопоїзда при гальмуванні може бути викликано появою повертаючих моментів $M_{пі}$, що виникають внаслідок неоднакової ефективності дії гальмівних механізмів на колесах однойменних осей, яка характеризується коефіцієнтами початкової нерівномірності $k_{ні}$. Назвемо колесо з більшою ефективністю гальмування "відстаючим", а з меншою - "забігаючим". Тоді

$$k_{ні} = 1 - R_{хз} / R_{хо}, \quad (1)$$

де $R_{хз}$, $R_{хо}$ — дотичні реакції на «забігаючому» і «відстаючому» колесах.

Дотичні реакції на колесах осей автопоїзда визначаються як

$$R_{хі} = Z_i \times \varphi_i, \quad (2)$$

де Z_i – нормальна реакція опорної поверхні на колесо і-ої осі;

φ_i – коефіцієнт зчеплення і-ого колеса з опорною поверхнею.

Тоді вважаючи, що нерівномірність гальмівних сил на колесах однієї осі обумовлена зміною навантаження на кожне колесо причепа і автопоїзда, отримаємо

$$P_{гп} = 0,5G_n \times \varphi + 0,5G_n \kappa_{нп} \times \varphi = 0,5G_n \times \varphi(1 + k_{нг}), \quad (3)$$

$$P_{гап} = G_a \times \varphi + 0,5G_n \times \varphi(1 + \kappa_{нп}), \quad (4)$$

де G_n - навантаження на здвоєну вісь причепа;

G_a - навантаження на осі автомобіля.

$\kappa_{нп}$ - коефіцієнт нерівномірності гальмівних сил на осі причепа.

Прирівнюючи гальмівні сили причепа і автопоїзда отримаємо

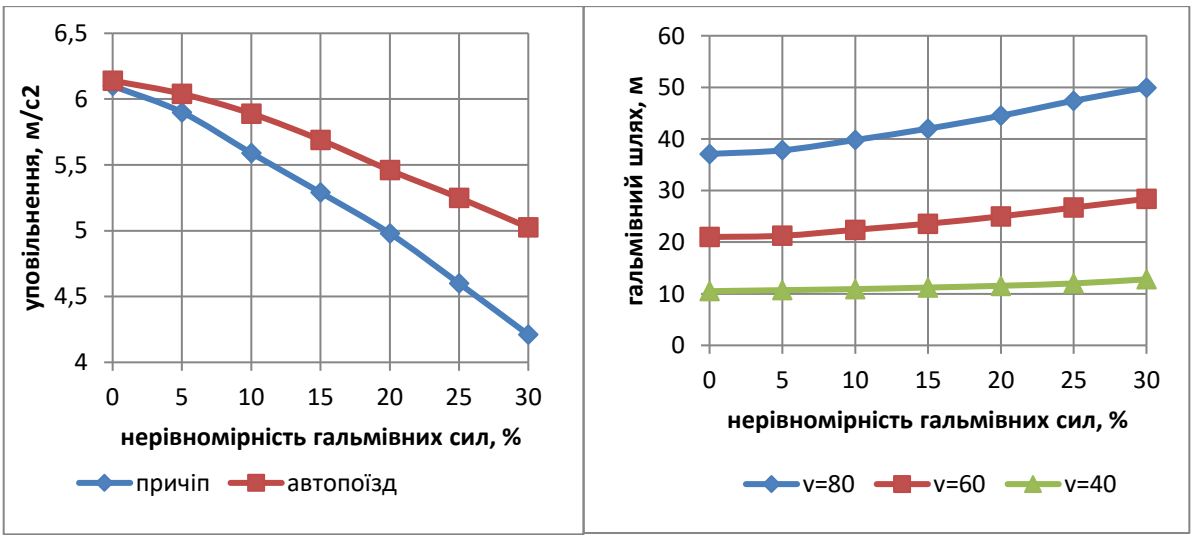
$$j_n = \frac{g \times \varphi(1 + k_{нг})}{2}, \qquad j_{ап} = \frac{G_a \times g \times \varphi(1 + k_{нг})}{G_a + G_n}. \quad (5)$$

Гальмівний шлях автопоїзда визначиться як

$$S_{гап} = \frac{G_{ап} \times v^2}{2 \times g \times P_{гап}} = \frac{v^2}{2 \times j_{ап}}. \quad (6)$$

Результати розрахунків уповільнення і шляху гальмування представимо на рис.1.

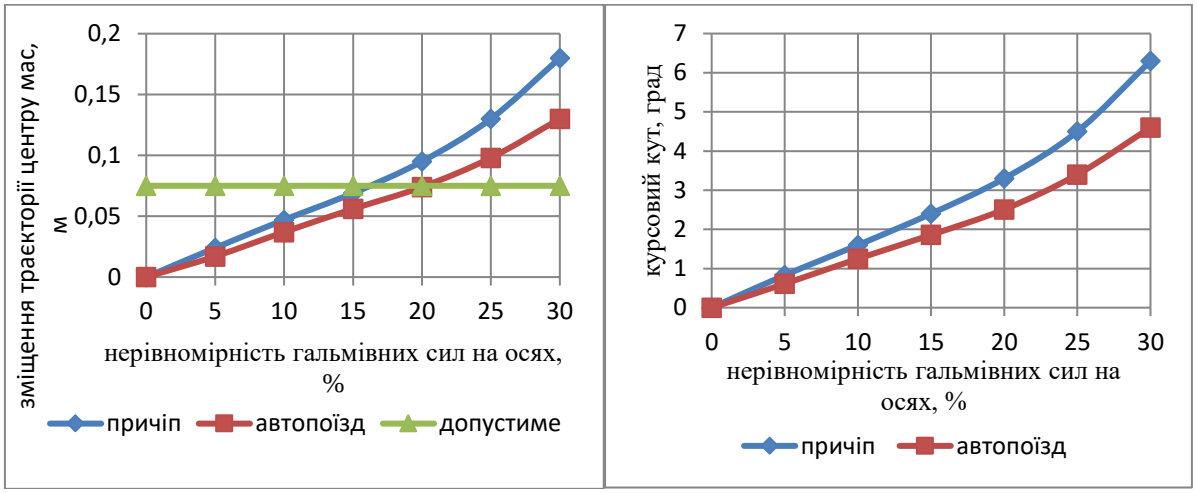
Аналіз розрахунків, рис. 1, показує, що тільки за коефіцієнта нерівномірності гальмівних сил на осях причепа $k_н$= 0,18 автопоїзд відповідає вимогам нормативних документів (V_0= 60 км/год, $j_{ап}$=6,0 м/с^2). Разом з тим, за величиною гальмівного шляху навіть за коефіцієнта нерівномірності гальмівних сил на осях причепа $k_н$= 0,3 автопоїзд відповідає вимогам нормативних документів (V_0= 60 км/год, $S_г$=33,9 м). Із цього слідує, що для забезпечення вимог нормативних документів щодо ефективності гальмування автопоїзда нерівномірність гальмівних сил на осях причепа не повинна перевищувати $k_н$= 0,18.



а б

Рисунок 1 – Уповільнення (а) і шлях гальмування автопоїзда (б) в залежності від нерівномірності гальмівних сил на здвоєній осі причепа

Стійкість автопоїзда будемо оцінювати коефіцієнтами ефективності гальмування (1), для визначення яких необхідно знати зміщення траєкторії автомобіля і причепа (відносно прямолінійного руху автопоїзда), а також їх курсового кута в процесі гальмування Ці параметри були отримані шляхом розвя'зку системи диференціальних рівнянь руху автопоїзда в режимі гальмування за швидкості V_{x1}=60 км/год [4(1)], рис. 2.



а б

Рисунок 2 - Зміщення курсового кута (а) і зміщення траєкторії автомобіля і причепа від нерівномірності гальмівних сил на здвоєній осі причепа

Як слідує з рис.2, допустиме зміщення траєкторії причепа щодо траєкторії тягового автомобіля ($\delta S=0{,}03\times B_{пр}$) δS=0,057 м досягається за нерівномірності гальмівних сил на здвоєній осі причепа на рівні 16%. Подальше збільшення нерівномірності гальмівних сил призводить до втрати стійкості руху автопоїзда.

Наступним етапом досліджень було вплив нерівномірності гальмівних сил на осях причепа на початкову швидкість гальмування [5]. На рис. 3 наведена залежність початкової швидкості, за якої забезпечується стійкість руху автопоїзда повної маси причепа ($G_п$=2800 кг), від нерівномірності гальмівних сил на осі (осях) причепа, рис. 3.

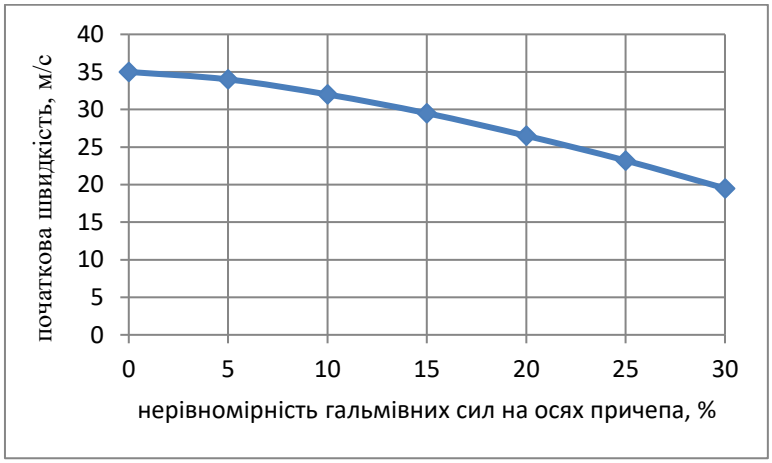


Рисунок 3 – Залежність початкової швидкості гальмування, за якої забезпечується стійкість руху автопоїзда, від нерівномірності гальмівних сил на осях причепа

Аналіз даних, рис. 3, показує на небезпечність нерівномірності гальмівних сил на осях причепа. Так, за номінального завантаження автомобіля і причепа (повна маса відповідно m_1=3500 кг і m_2=2800 кг) при збільшенні нерівномірності гальмівних сил на осях причепа до 30% початкова швидкість гальмування, за якої ще забезпечується стійкість руху автопоїзда (максимальне зміщення траєкторії Δs причепа щодо траєкторії автомобіля не перевищило 0,0516

м) зменшилася майже вдвічі від 35,3 до 19,7 м/с. Тому нерівномірність гальмівних сил на осях причепа слід обмежити на рівні 18%. При цьому початкова швидкість гальмування автопоїзда з номінальною масою причепа і нерівномірністю гальмівних сил на осях причепа буде такою ж, як і для автопоїзда з номінальною масою причепа m_2=2500 кг, що зустрічається в експлуатації автопоїздів.

Висновки.

Встановлено, що тільки за нерівномірності гальмівних сил на осях причепа на рівні 18% автопоїзд відповідає вимогам нормативних документів щодо уповільнення.. Разом з тим, за величиною гальмівного шляху навіть за нерівномірності гальмівних сил на осях причепа на рівні 30% автопоїзд відповідає вимогам нормативних документів.

Доведена небезпечність нерівномірності гальмівних сил на осях причепа. Так, за номінального завантаження автомобіля і причепа при збільшенні нерівномірності гальмівних сил на осях причепа до 30% початкова швидкість гальмування, за якої ще забезпечується стійкість руху автопоїзда зменшилася майже вдвічі від 30,0 до 19,7 м/с. Тому нерівномірність гальмівних сил на осях причепа слід обмежити на рівні 18%. При цьому буде забезпечена стійкість руху автопоїзда і безпечність його експлуатації.

Показано, що збільшення завантаженості причепа призводить до збільшення коефіцієнта його стійкості за різних значень коефіцієнта нерівномірності гальмівних сил на колесах його осей. Це свідчить про те, що найгірші показники стійкості притаманні автопоїзду з причепом без вантажу. Це необхідно враховувати при експлуатації автопоїзда.

Список використаних джерел

1. Гандзюк М.О., Гандзюк Д.М. Особливості моделювання динамічної взаємодії ланок малотоннажного автопоїзда при розгоні та русі по нерівній дорозі//Сучасні технології в машинобудуванні і на транспорті. 2022, №2 (19). С.54-62.

2. Подригало М. А. Вплив бортової нерівномірності гальмівних сил на відхилення автомобіля / М. А. Подригало, А. І. Коробко // Автомобільний транспорт. Збірник наукових праць. – Харків : ХНАДУ, 2009. – № 24. – С. 33-36.

3. Маневреність і гальмівні властивості колісних машин / [М. А. Подригало, В. П. Волков, В. І. Кирчатий, А.А. Бобошко]; Під. ред. М. А. Подригало.– Харків : Вид-во ХНАДУ, 2003 – 403 с.

4. Сахно В.П., Мурований І.С., Онищук В.П, Стельмащук С.В., Вінцюк М.Я. До визначення стійкості руху автомобіля з причепом категорії О2 у гальмівному режимі //Сучасні технології в машинобудуванні і на транспорті, 2024. – С.296 – 306.

5. Сахно В. П., Онищук В. П., Стельмащук С. В. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на стійкість руху автомобіля з причепом категорії О2 у гальмівному режимі//Науково-виробничий журнал “Автошляховик України” № 2 (279)’2024. С.74-85.

Онищук Василь Петрович **–** к.т.н., доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua

Стельмащук Станіслав Віталійович **–** аспірант кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: stanislav0077@ukr.net

Onishyk Vasul P. *– PhD in Engineering, head of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua*

Stelmashyk Stanislav V. *– Second-year postgraduate student at the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: stanislav0077@ukr.net*

УДК 656.1

В.О. Осипов, В.О. Хоменко

ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЮ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ЗА КРИТЕРІЄМ ВПЛИВУ ПІДСИСТЕМИ «СЕРЕДОВИЩЕ»

У роботі вивчено актуальну проблему впливу підсистеми «Середовище» ергономічної системи Водій-Автомобіль-Дорога-Середовище на рівень аварійності на автомобільних дорогах загального користування, вулицях та дорогах населених пунктів. Виявлено фактори, які до цього часу не враховувалися як такі, що мають безпосередній вплив на роботу підсистеми, а саме вплив ранкових та вечірніх навігаційних сутінок у часи пік на вірогідність потрапляння у аварію.

Ключові слова: *водій, автомобіль, дорога, середовище, аварійність, навігаційні сутінки, рейтинг регіонів.*

The paper studied the actual problem of the impact of the «Environment» subsystem of the ergonomic Driver-Car-Road-Environment system on the level of accidents on public highways, streets and roads of populated areas. Factors that have not been taken into account so far have been identified as having a direct impact on the operation of the subsystem, namely the impact of morning and evening navigational twilight during peak times on the probability of getting into an accident.

Keywords: *driver, car, road, environment, accident, navigation twilight, rating of regions.*

В системі Водій-Автомобіль-Дорога-Середовище (В-А-Д-С) сучасними дослідниками вивчено практично всі аспекти функціонування підсистем та основні закономірності їх взаємодії. На погляд авторів, найбільш нерозкритою темою залишається вивчення впливу навколишнього середовища на рівень аварійності на автомобільних дорогах загального користування, вулицях та дорогах населених пунктів, тому дослідження цієї проблеми є актуальним.

Метою дослідження є виявлення закономірностей впливу підсистеми «Середовище» на роботу системи Водій-Автомобіль-Дорога-Середовище. Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- вивчити фактор добового та календарного впливу підсистеми «Середовище» на безпеку руху;
- проаналізувати феномен ранкових та вечірніх сутінок як фактор підвищення ризиків для безпеки руху із подальшою побудовою рейтингу територій за рівнем небезпеки спираючись на фактор навколишнього середовища;
- виявити кореляційну залежність дорожньо-кліматичних умов від рівня аварійності спираючись на статистичні та довідкові дані із подальшою розробкою методу оцінки рівня безпеки руху по регіонам України за ознаками впливу фактору навколишнього середовища.

Кліматичні умови значно впливають не тільки на кількість і режим поверхневих вод, висоту підняття підземних вод, кількість, інтенсивність і форму атмосферних опадів, водно-тепловий режим земляного полотна, тривалість будівельного сезону а й на рівень безпеки руху. Особливо значний вплив кліматичні умови мають у цьому факторі на умови експлуатації доріг та самопочуття водія. Кліматичні умови характеризуються температурою повітря, кількістю опадів, швидкістю і напрямком вітру, висотою снігового покрову, глибиною промерзання, кількістю днів з метелицями, ожеледицями, відлигами, туманами тощо [1]. Усі перелічені дані приймаються за кліматичними довідниками, енциклопедіями і будівельними нормами. За кліматичними умовами територія України згідно ДБН В.2.3-4:2015 [2] поділяється на чотири дорожньо-кліматичні зони.

Вплив кліматичних умов як основної частини підсистеми «Середовище» має неоднорідний характер, ступінь впливу визначається за певними характеристиками, які водій відчуває в першу чергу - дальність видимості, коефіцієнт зчеплення, температура тощо. Існують певні процеси, результати яких водій не відчуває на умовах руху миттєво, проте вони також впливають на безпеку руху. Наприклад, температура та стан ґрунту насипу автодороги, які є важливою умовою її функціонування. У весняний період полотно насипу перезволожується у наслідок значних опадів та підняття капілярним способом ґрунтових вод; коефіцієнт міцності насипу знижується, як наслідок знижується модуль пружності всієї конструкції. Послаблена конструкція має низький опір динамічному навантаженню, що передається від коліс транспортних засобів на покриття

проїзної частини, як наслідок конструкція зазнає деформацій. Учасники дорожнього руху їх бачать у вигляді сітки тріщин, просадок покриття та узбіччя, ямковості тощо.

Час доби, день тижня та місяць року є невід'ємною частиною кліматичних характеристик підсистеми «Середовище». Дослідження, які проведено авторами попередньо [3] виявили певні залежності коефіцієнта аварійності від відстані видимості, які напряму пов'язані із часом доби та року.

За визначенням [4] сутінки - оптичне явище перед сходом чи після заходу Сонця. Воно полягає в тому, що світіння атмосфери забезпечує освітленість земної поверхні. Вранці такий час доби називають світанком. Розрізняють сутінки цивільні, навігаційні й астрономічні. Цивільні сутінки - коли Сонце візуально опускається не нижче ніж на 6 градусів під горизонт. Діяльність людини в таких умовах зазвичай не потребує додаткового освітлення (за відсутності туману тощо). Навігаційні сутінки - Сонце опустилось нижче горизонту більш, ніж на 6 градусів, але не більше, ніж на 12 градусів. У цьому випадку вмикається вуличне освітлення у містах, але освітленість ще достатня, щоб розрізняти морські й річкові навігаційні знаки. Астрономічні сутінки - Сонце опустилось нижче горизонту більш як на 12 градусів, але менше, ніж на 18 градусів. Назва пов'язана із тим, що в цих умовах світіння атмосфери все ще зависоке для проведення певних астрономічних спостережень. Астрономічні сутінки закінчуються після опускання Сонця нижче 18 градусів під горизонт. Спираючись на дані, отримані з [5] сформовано усереднені річні показники сходу, заходу Сонця, навігаційні сутінки за регіонами України, та накладено їх на ранкові та вечірні часи пік у розрізі областей. Встановлено [6], що середній час руху з роботи та на роботу складає у середньому 1 год., тобто часовий діапазон, в період якого підвищується небезпека у разі настання сутінок складає з 08.00 до 09.00 та з 18.00 до 19.00. Проведені дослідження дали змогу побудувати гістограму небезпек по областям України за ознаками інтелектуального порівняння даних сутінок з визначеними годинами пік. Спираючись на отримані дані побудовано рейтинг територій України за ознаками впливу фактору сутінок в години пік на безпеку руху. Встановлення залежності впливу ранкових та вечірніх сутінок на рівень аварійності дають безсумнівну змогу підвищити точність прогнозування вірогідності скоєння ДТП, особливо на автомобільних дорогах загального користування (позаміських), де проблема штучного освітлення ще стоїть дуже гостро. Навіть у населених пунктах питання своєчасного включення штучного освітлення не відрегульовано чинним [7], в нормативі йдеться тільки про рівні освітлення в залежності від інтенсивності руху та типу дорожнього об'єкту. Навіть наявність у водіїв інформації про часи та дати найбільшої небезпеки в їх регіоні з точки зору сутінок має потенціал для зменшення рівня аварійності через готовність водія до цього фактору впливу підсистеми «Середовище». Отримані у роботі результати дають більш глибоке розуміння важливості фактору навколишнього середовища в парадигмі безпеки руху. Виявлено кореляційну залежність дорожньо-кліматичних умов від рівня аварійності спираючись на статистичні та довідкові дані. В ході дослідження використано кореляційний аналіз Пірсона - коваріацію двох змінних, поділену на добуток їхніх стандартних відхилень, з метою виявлення аварійно небезпечних погодних факторів. Отримані коефіцієнти кореляції говорять про те, що середньостатистична кількість ДТП в Україні більшою мірою залежить від тривалості дня та факторів, які пов'язані із опадами (середня їх кількість, число днів та висота снігового покриву); від інших факторів в меншій частці.

З метою отримання апріорних даних, які можна у подальшому використовувати при прогнозування аварійності в розрізі регіонів запропонована авторська розробка - градація регіонів за ознаками їх постійної небезпечності з точки зору безпеки руху спираючись на фактори, які пов'язані із опадами та тривалістю дня (враховуючи фактор сутінок у ранкові та вечірні часи пік). Показники ступеню небезпеки ділянок доріг приведено до 100-балової шкали із визначенням чотирьох основних ступенів небезпеки, що дає змогу більш чіткіше формалізувати явища з подальшим підключенням результатів до загального визначення рівня небезпеки в системі В-А-Д-С.

Список використаних джерел

1. Піндус Б.І. Проектування автомобільних доріг: навч. посібник / Б.І. Піндус, В.В. Гончаренко. Горлівка: АДІ ДВНЗ ДонНТУ, 2013. 219 с.

2. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. К.: Будстандарт, 2015. 68 с.

3. Капський Д.В. До питання аналітичного порівняння даних аварійності у часі / Д.В. Капський, В.О. Осипов // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. 2013. № 4. С. 25-31.

4. Етимологічний словник української мови : в 7 т. / редкол.: О.С. Мельничук (гол. ред.) та ін. К.: Наукова думка, 2006. Т. 5: Р - Т / укл.: Р.В. Болдирєв та ін. 704 с. ISBN 966-00-0785-Х.

5. Астрономічний календар. 2016 / ред. кол.: А.П. Відьмаченко (гол. ред.) та ін.; ГАО НАН України. Київ, 2015. 286 с., 2 з. іл.

6. Хто, скільки часу і на чому добирається на роботу - інфографіка URL: https://ridna.ua /2015/03/ hto- skilky- chasu-i- na- chomu- dobyrajetsya- na- robotu infohrafika/. (дата звернення 02.02.2024).

7. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2018-10-03]. Офіц. док. К.: Мінрегіон України, 2018. 133 с.

Осипов Валентин Олександрович **–** к.т.н., доцент, старший викладач кафедри автомобільної підготовки Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Київ, e-mail: osipov.valentin100@gmail.com

Хоменко Володимир Олександрович **–** начальник кафедри автомобільної підготовки Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Київ, e-mail: robotazko24@gmail.com

Osypov Valentyn O. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, senior teacher of the Department of Automotive Training. Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv. e-mail: osipov.valentin100@gmail.com

Khomenko Volodymyr O. **–** Head of the Department of Automotive Training. Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv. e-mail: robotazko24@gmail.com

УДК 656.132

В.М. Павленко, В.М. Павленко

КОМПЛЕКСНИЙ МОНІТОРИНГ ТА СЕРВІС ВИСОКОВОЛЬТНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

В роботі досліджуються технологічні та операційні виклики, пов'язані з обслуговуванням високовольтних акумуляторних батарей електромобілів, які є найдорожчим і найкритичнішим компонентом транспортного засобу. Аналізується необхідність переходу від традиційної діагностики до прогнозного обслуговування. Основна увага приділена інноваційним підходам, зокрема, алгоритмам машинного навчання для точної оцінки стану здоров'я та прогнозування залишкового терміну служби (RUL) батареї. Розглянуто технології репакінгу (модульного ремонту) та застосування доповненої реальності (AR) для забезпечення безпеки та точності робіт із високою напругою.

Ключові слова: *високовольтна батарея, електромобіль, прогнозне обслуговування, репакінг, доповнена реальність, рециклінг.*

The paper examines the technological and operational challenges associated with servicing high-voltage electric vehicle batteries, which are the most expensive and critical component of a vehicle. It analyzes the need to transition from traditional diagnostics to predictive maintenance. The main focus is on innovative approaches, in particular, machine learning algorithms for accurate health assessment and residual useful life (RUL) prediction of batteries. Repacking (modular repair) technologies and the use of augmented reality (AR) to ensure the safety and accuracy of high-voltage work are considered.

Key words: *high-voltage battery, electric vehicle, predictive maintenance, repacking, augmented reality, recycling.*

Глобальний перехід до електричної мобільності кардинально трансформує вимоги до технічного обслуговування транспортних засобів. Високовольтна акумуляторна батарея (АКБ) електромобіля (EV) є його найдорожчим, найскладнішим і найкритичнішим компонентом, визначаючи запас ходу, продуктивність та залишкову вартість автомобіля. На відміну від двигунів внутрішнього згоряння, деградація АКБ відбувається поступово і залежить від численних факторів: температурного режиму, циклів зарядки/розрядки та стилю водіння.

Традиційні методи діагностики, засновані на простих зчитуваннях кодів помилок, є недостатніми для точної оцінки фактичного стану батареї. Необхідний комплексний підхід, що охоплює безперервний моніторинг, точну діагностику стану здоров'я (State of Health, SoH), відновлення модулів та безпечне поводження з високою напругою. Відсутність належної інфраструктури та кваліфікованого персоналу для обслуговування АКБ є одним із головних стримуючих факторів для масового впровадження EV та становить значні ризики для безпеки та навколишнього середовища [1].

Метою роботи є аналіз технологічних та операційних викликів, пов'язаних з обслуговуванням високовольтних АКБ, а також дослідження інноваційних стратегій та інструментів, що застосовуються для їхнього комплексного моніторингу та сервісу.

Літій-іонні батареї EV складаються з тисяч окремих комірок, об'єднаних у модулі, якими керує складна система управління акумулятором (Battery Management System, BMS). Несправність однієї комірки або модуля може призвести до зниження продуктивності всієї системи, а в критичних випадках – до теплового розгону.

Ключові виклики сервісу АКБ. Насамперед це безпека (висока напруга). Робота з напругою від 400 В до 800 В вимагає спеціального ізольованого інструменту, засобів індивідуального захисту та суворого дотримання процедур безпечного відключення (lockout/tagout) перед початком будь-яких робіт. Це вимагає окремої кваліфікації механіків.

Також точна діагностика деградації (SoH). Деградація АКБ є нелінійним процесом. Проста оцінка напруги не дає повного уявлення про втрату ємності. Необхідні складні методи, здатні оцінити SoH на рівні окремих модулів.

Не слід забувати і про економічну доцільність ремонту. Бо вартість заміни всієї батареї може становити 30-50% вартості нового автомобіля. Це стимулює розвиток технологій відновлення (репакінгу), коли замінюються лише несправні модулі чи комірки.

Що стосується екології та логістики, то АКБ класифікуються як небезпечні відходи. Необхідна спеціалізована логістика для їхнього транспортування, а також розробка інфраструктури для другого життя (використання у стаціонарних накопичувачах енергії) та рециклінгу.

Для подолання проблеми неточної діагностики застосовуються передові технології, що використовують сервісні та телематичні дані [1, 2]:

1. Моніторинг на основі цифрових близнюків (Digital Twins). Створення віртуальної моделі конкретної АКБ, яка постійно калібрується за даними, що передаються BMS в хмару. ЦБ інтегрує фізичні моделі старіння (температурні цикли, хімічні процеси) з алгоритмами машинного навчання (ML), навченими на реальних профілях деградації. Це дозволяє точно прогнозувати SoH та Залишковий Термін Служби (RUL) батареї з високою точністю, виявляючи потенційні несправності за місяці до їхнього виникнення;
2. Неруйнівна діагностика (NDT). Використання тепловізорів (термографії), ультразвуку або аналізу спектру імпедансу. Термографія дозволяє виявити нерівномірний тепловий розподіл або локальні "гарячі точки" (hot spots), які вказують на зростання внутрішнього опору та потенційний ризик теплового розгону в окремих комірках. Дає можливість оцінити фізичний стан батареї без її розбирання, що критично для гарантійного обслуговування;
3. Розширений Аналіз BMS-даних. Аналіз журналів BMS за допомогою алгоритмів виявлення аномалій (Anomaly Detection). Ці алгоритми ідентифікують нетипові шаблони зарядки/розрядки, дисбаланс напруги між модулями або нетипову швидкість падіння ємності, що може бути пов'язано з внутрішніми мікрокороткими замиканнями.

Економічна необхідність ремонту, а не повної заміни батареї, призвела до розвитку технології репакінгу (repacking).

1. Спеціалізовані "Чисті кімнати". Ремонт батарей вимагає ізольованих, контрольованих за температурою та вологістю робочих зон, оскільки літій-іонні елементи чутливі до зовнішнього середовища;
2. Модульний ремонт. Замість заміни всієї АКБ, фахівці ідентифікують несправний модуль (за допомогою діагностичних даних) і замінюють лише його, або ж замінюють окремі елементи (комірки) всередині модуля. Цей процес вимагає високоточного точкового зварювання, відновлення електронних зв'язків та обов'язкового перебалансування всієї батареї;
3. AR-підтримка ремонту. Враховуючи високий ризик роботи, технологія (AR) є незамінною. AR-окуляри можуть накладати на батарею покрокові візуальні інструкції для безпечного відключення, точне розташування кріплень та схеми підключення модулів, підвищуючи безпеку та точність виконання робіт.

Обслуговування АКБ не закінчується їхнім вилученням з автомобіля. Це створює нові економічні можливості [2]:

– "Друге життя" (Second Life) – батареї, які вже не відповідають вимогам автомобіля (SoH < 70-80%), все ще можуть мати значну ємність для стаціонарних накопичувачів енергії (ESS) у будинках або промислових мережах. Сервісні центри EV стають ключовою ланкою в ланцюгу оцінки, тестування та перепакування батарей для їхнього подальшого використання;

– рециклінг – АКБ містять цінні матеріали (літій, кобальт, нікель). СТО повинні стати частиною логістичного ланцюга, що забезпечує безпечну та екологічну передачу відпрацьованих батарей на спеціалізовані підприємства для вилучення цих ресурсів.

Критичним викликом є брак кваліфікованого персоналу. СТО повинні інвестувати у [3]:

– спеціалізовані сертифікації забезпечують навчання роботі з високою напругою згідно з міжнародними стандартами безпеки;

– практичні лабораторії реалізується створенням навчальних класів з макетами АКБ та модулів, де персонал може відпрацьовувати процедури діагностики та репакінгу;

– цифрові інструменти навчання – це використання AR та VR-симуляцій для відпрацювання аварійних ситуацій (наприклад, пожежа батареї) без ризику для здоров'я.

Комплексний моніторинг та сервіс високовольтних акумуляторних систем є найважливішим сектором інновацій в технічному обслуговуванні. Успіх СТО в еру EV залежить від їхньої здатності інтегрувати передові технології: Цифрові Близнюки для точного прогнозного обслуговування (RUL), ML-алгоритми для виявлення аномалій та AR-технології для безпечного та ефективного ремонту.

Інвестиції у технології репакінгу та створення безпечної інфраструктури не лише знижують вартість володіння EV для клієнта, підвищуючи лояльність, але й позиціонують СТО як ключових гравців у розширеному екологічному циклі використання батарей (від "першого" до "другого життя" та рециклінгу). Подолання викликів безпеки та стандартизації кваліфікації є необхідною умовою для стійкого розвитку автомобільного сервісу в найближче десятиліття.

Список використаних джерел

1. Gholami, A., Ghadimi, N., & Vahidi, B. (2021). Predicting the Remaining Useful Life of Automotive Components Using Deep Learning Algorithms: A Review. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70(10), 9687-9700.

2. Wood, E., & Liu, Y. (2019). Safety and Second Life: Challenges in Battery Management System Diagnostics for Electric Vehicle Batteries. *Journal of Energy Storage*, 22, 1-10.

3. Jafari, H., & Liu, Y. (2021). Augmented Reality in Automotive Maintenance: A Systematic Review of Technologies and Applications. *Journal of Engineering Design*, 32(8), 497-518.

Павленко Віталій Миколайович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри композиційних конструкцій і авіаційного матеріалознавства, Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут". м. Харків. e-mail: v.pavlenko@khai.edu

Павленко В'ячеслав Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту ім. Говорущенка М.Я., Харківський національний автомобільно-дорожній університет. м. Харків. e-mail: vp.khadi@gmail.com

Pavlenko Vitaliy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Composite structures and aviation materials, National aerospace university "Kharkiv aviation institute". Kharkiv. e-mail: v.pavlenko@khai.edu

Pavlenko Vyacheslav – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Automotive transport systems engineering M.Y. Govorushchenko department, Kharkiv National Automobile and Highway University. Kharkiv. e-mail: vp.khadi@gmail.com

УДК 629.331.073:621.43:355.4

О.В. Павленко, В.О. Єлістратов, В.В. Фесенко

ПОПЕРЕДНІЙ ВИБІР МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА АВТОПОЇЗДА ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ СУЧАСНИХ АНАЛОГІВ

З метою забезпечення обґрунтованого попереднього вибору максимальної потужності автопоїздів для транспортування важкої техніки військового призначення зроблено огляд показників енергоозброєння сучасних автопоїздів-аналогів. Визначено, що значення максимальної потужності двигуна автопоїзда повної маси 102-108 т буде знаходитися в межах 400-520 кВт.

Ключові слова: *автопоїзд військового призначення, максимальна потужність двигуна, питома потужність, огляд параметрів аналогів.*

In order to ensure a reasonable preliminary selection of the maximum power of road trains for transporting heavy military equipment, a review of the energy equipment indicators of modern road trains-analogues was made. It was determined that the maximum engine power of a road train with a gross weight of 102-108 tons will be within 400-520 kW.

Keywords: *military road train, maximum engine power, specific power, review of analogue parameters.*

Максимальна потужність двигуна та питома потужність автопоїзда для перевезення важкої техніки безпосередньо визначають його основні експлуатаційні характеристики [1]. Насамперед вони впливають на динамічні властивості, тобто на здатність автопоїзда прискорюватися, швидко набирати швидкість і підтримувати необхідний темп руху в колоні. За низького рівня питомої потужності розгін стає занадто повільним. Потужність двигуна також визначає можливість подолання підйомів: щоб упевнено долати ухили 8-12%, характерні для кар'єрних або польових доріг, потрібен рівень питомої потужності не нижче 5-6 кВт/т [2].

Від цього показника залежить і середня технічна швидкість руху на маршруті. Якщо двигун має достатню потужність, автопоїзд здатен рухатися стабільно навіть за повного завантаження чи на пересіченій місцевості. За нестачі потужності середня швидкість зменшується, що негативно впливає на оперативність доставки військової техніки.

Важливим є й вплив указаних показників на прохідність: для руху ґрунтовими дорогами, піском чи снігом необхідний високий крутний момент на колесах, який залежить від потужності двигуна та параметрів трансмісії [3]. Якщо питома потужність двигуна занадто низька, виникає небезпека буксування, перегріву агрегатів і втрати тяги.

Максимальна потужність двигуна визначає здатність автопоїзда працювати у важких умовах і виконувати завдання на межі граничного навантаження, а питома потужність виступає інтегральним показником реальної придатності автопоїзда до транспортування військової техніки, опосередковано визначаючи його динаміку, швидкість, прохідність, економічність і надійність експлуатації [4].

Під час проектування нового автопоїзду на автомобільному підприємстві-виробнику можуть скластися особливі умови, які накладають певні обмеження на вибір силового агрегату. Наприклад, КрАЗ має певні договірні відносини з фірмою Mercedes, які ґрунтуються на вимогах Міністерства оборони України. При цьому до співробітництва з фірмою Mercedes протягом багатьох років заводом КрАЗ використовували силові агрегати WP виробництва Китаю. Тому склалася практика вибирати двигун із переліку доступних за принципом – спочатку вибираємо двигун а потім визначаємо відповідні показники транспортного засобу.

З метою спрощення попереднього вибору максимальної потужності можна скористатися статистичними даними щодо відповідності максимальної потужності двигунів і повної маси автопоїздів для транспортування важкої броньованої техніки військового призначення. Особливу увагу було приділено тягачам колісної формули 8х8, оскільки саме такий варіант наразі є у розробці заводом.

Оскільки транспорт військового призначення постійно розвивається то доцільно використовувати існуючі статистичні дані щодо питомої потужності транспортних засобів

військового призначення. Результати огляду сучасних зразків сідельних тягачів військового призначення, які зараз є на ринку військової техніки, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати огляду енергоозброєння сучасних автопоїздів військового призначення

Виробник і модель автопоїзду	Повна маса, т	Максимальна потужність двигуна, кВт
Oshkosh M1070A1 (HET) 8x8	107,32	515
Oshkosh Defense Global HET 6x6	106,8	515
Oshkosh M1088 Oshkosh Defense FMTV 5-ton tractor 6x6	40,055	246
Oshkosh MK31 Tractor 6x6	62,686	323,6
Oshkosh MTT 6x6	40,823	224
Oshkosh M983A4 Patriot Tractor	32,885	367,75
Oshkosh M985A4 GMT (Guided Missile Transporter) 8x8	35,607	367,75
Oshkosh MKR16 Tractor 10x10	45,813	441,3
Mercedes-Benz Zetros tractor 8x8 і 6x6	120	375
RMMV HX eXeMPlARy HX 8x8	130	500,14
Tatra T815 (8×8 military variants)	110	447
Volvo FMX11 4x2	44	338,3
Volvo FMX13 4x4	40	309
Volvo FMX13 4x4	40	397,2
Volvo FMX13 6x6	60	309
Volvo FMX13 6x6	60	397,2
Iveco 4x4 Tractor	44	332
Iveco 6x6 Tractor	44	375
Iveco 8x8 Tractor	130	419
Iveco10x104 Tractor	98	504
МЗКТ-740100+937030 (8x8)	85,65	294
МЗКТ-74 1310 (8x8)	130	478
МЗКТ-741351 +999421 (8x8)	132	597
МЗКТ-742900 (8x8)	88	346
МЗКТ-742910 (8x8)	125	441
МЗКТ-742960+820400 (8x8)	106	400

Також результати огляду сучасних зразків сідельних тягачів військового призначення, які зараз є на ринку військової техніки, в графічному представленні наведено на рисунку 1.

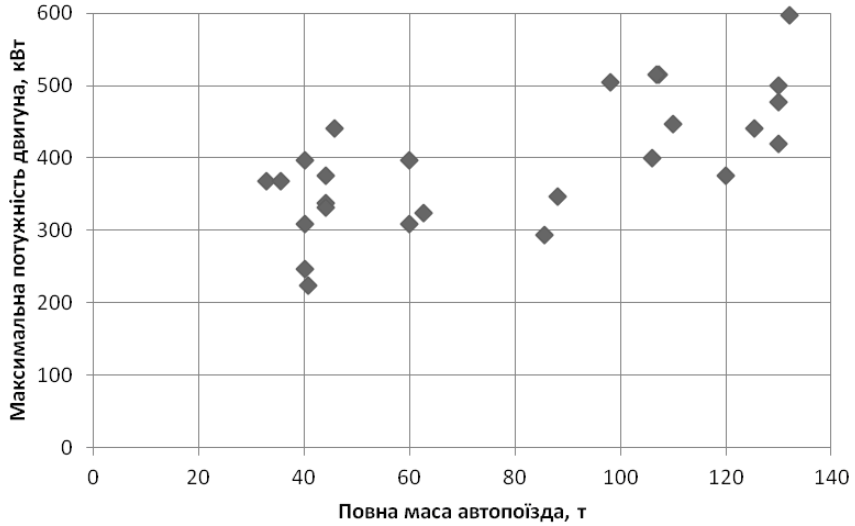


Рисунок 1 – Відповідність максимальної потужності двигуна до повної маси автопоїздів військового призначення

За аналізом наведених даних видно, що загальна тенденція виявляється такою, що чим більша повна маса автопоїзду, тим більша потреба в потужності його двигуна. Для дуже важких танкових транспортерів, повна маса яких досягає 80-100 т, типовим є оснащення їх двигунами потужністю 500-520 кВт. Легші військові вантажівки/тягачі (мікро/середній клас) мають двигуни потужністю в діапазоні 200-350 кВт. Гнучкість конфігурації, які надають виробники (яскравий приклад Iveco defense) надають вибір оснащення одного шасі різними двигунами. Для випадку потреби буксирування напівпричепу масою 80 т статистично очікувана повна маса автопоїзду буде в межах 102-108 т. Отже, є очевидним, що максимальна потужність двигуна не може бути меншою за 400 кВт.

Список використаних джерел

1. Дунь С. В., Єлістратов В. О. Результати випробувань броньованих автомобілів українського виробництва. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук, КрНУ, 2020. № 4(123). С. 91–99.

2. S. O. Korol, M. M. Moroz, S. S. Korol, V. O. Yelistratov and O. V. Moroz. Development of a Moderator of the Pump Controlled Drive for the Engine. *International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, 2019, pp. 30–33.

3. Кайдалов Р.О., Страшний І.Л., Маренко Г.М., Єлістратов В.О., Шапко В.Ф., Дунь С.В., Гребеник О.М. Порівняльний аналіз конструктивних і техніко-експлуатаційних показників українських броньованих машин. *Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ»*. Луцьк, ЛНТУ, 2020. № 69. С. 45–54.

4. Павленко О.В., Єлістратов В.О., Харьков О.А., Москівець Ю.О. Експлуатація та підтримання технічної готовності автомобільних транспортних засобів в умовах бойового застосування. *Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки* : матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф. 13–14 листопада 2024 р. Вінниця : ВНТУ. С. 400–402.

Павленко Олександр Володимирович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: alexander6170101@gmail.com

Єлістратов Вячеслав Олександрович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: yelisslava@gmail.com

Фесенко Володимир Володимирович – студент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: yelisslava@gmail.com

Pavlenko Oleksandr V. – PhD (Tech.), Associate Professor of the Department of automobiles and tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: alexander6170101@gmail.com

Yelistratov Viacheslav O. – PhD (Tech.), Associate Professor of the Department of automobiles and tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: yelisslava@gmail.com

Fesenko Volodymyr V. – student of the Department of automobiles and tractors Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: yelisslava@gmail.com

УДК 711.4:656.13:502.174

О.В. Павленко, В.О. Єлістратов, О.А. Харьков, А.В. Сидоренко

КОНЦЕПТУАЛЬНЕ РОЗУМІННЯ РОЛІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В МІСТІ МАЙБУТНЬОГО

У роботі розглянуто концептуальні підходи до формування ролі автомобільного транспорту в місті майбутнього. Показано, що надмірна автомобілізація призводить до погіршення якості життя населення через перевантаження вулично-дорожньої мережі, забруднення повітря, шумове навантаження та втрату громадського простору. Розглянуто економічні наслідки транспортних заторів і доведено переваги розвитку громадського транспорту, велосипедної та пішохідної інфраструктури. Розглянуто сучасні урбаністичні концепції — «15-хвилинне місто», зменшення субурбанізації, трансформацію торгівлі та баланс видів транспорту (Modal Share). Підкреслено, що майбутнє міста полягає у створенні збалансованої системи мобільності, де автомобіль є допоміжним елементом, а не головним чинником просторової організації.

***Ключові слова**: автомобільний транспорт, автомобілізація, урбаністика, екологічний вплив, міська мобільність, громадський транспорт, сталий розвиток, транспортна інфраструктура.*

The paper considers conceptual approaches to defining the role of automobile transport in the city of the future. It is shown that excessive motorization leads to a decline in the quality of urban life due to road network congestion, air pollution, noise exposure, and the loss of public space. The economic consequences of traffic congestion are analyzed, and the advantages of developing public transport, cycling, and pedestrian infrastructure are substantiated. Modern urban planning concepts are reviewed, including the "15-minute city," reduction of suburbanization, transformation of retail systems, and the balance of transport modes (Modal Share). It is emphasized that the future of cities lies in creating a balanced mobility system in which the car serves as a supporting element rather than the main factor of spatial organization.

***Keywords**: automobile transport, motorization, urban planning, environmental impact, urban mobility, public transport, sustainable development, transport infrastructure.*

Розвиток сучасних міст неможливо уявити без транспортних систем. Саме транспорт формує ритм життя, доступність ресурсів, комфорт для жителів і бізнесу [1]. Автомобіль довгий час залишався головним засобом пересування людей і транспортування вантажів у місті, однак тенденції останніх десятиліть показують зміни: від масової автомобілізації до переосмислення ролі автомобілів у міському просторі.

Автомобільний транспорт значно вплинув на просторову організацію міст: формування широких вулиць та автострад, розвиток передмість, поява гіпермаркетів з великими паркувальними зонами. Однак у великих містах надмірна кількість автомобілів стала одним із головних чинників погіршення якості життя населення. Зростання транспортного навантаження спричиняє низку соціальних, екологічних та економічних проблем, які набувають системного характеру.

Основною проблемою є транспортні затори, що призводять до втрати часу, зниження продуктивності праці та економічних збитків [2]. У великих містах, таких як Київ, Варшава, Париж чи, наприклад, Лос-Анджелес, водії щороку проводять у дорожніх заторах від 100 до 200 годин. Це створює додаткове навантаження на нервову систему, підвищує рівень стресу та негативно впливає на психічний стан мешканців.

Вагома частка автомобільних доріг, побудованих ще у XX столітті, не здатні пропускати сучасний обсяг транспортного потоку, що спричиняє постійне перевантаження дорожньої інфраструктури. Розширення доріг лише тимчасово покращує ситуацію, оскільки збільшення пропускної здатності стимулює подальше зростання кількості автомобілів – явище, відоме як індукований попит.

Автомобільний транспорт є одним із головних джерел шкідливих викидів у повітря в містах. За оцінками Європейського агентства з охорони довкілля, понад 60% міських забруднень припадає саме на транспорт. Вихлопні гази містять оксиди азоту, чадний газ, тверді частинки та

легкі органічні сполуки. Наслідки збільшення цих викидів у атмосферу для здоров'я людей проявляються в зростанні захворюваності на астму, хвороби серця, онкологічні та респіраторні патології. Всесвітня організація охорони здоров'я зазначає, що щорічно понад 4 млн. людей помирають від наслідків забруднення повітря, значну частку якого створює саме автомобільний транспорт.

Автомобільний транспорті своєю роботою створює постійний шумовий фон на рівні 70–80 дБ, що значно перевищує допустимі норми для житлових районів. Хронічний шум у місті знижує якість сну людини, підвищує ризик серцево-судинних захворювань, викликає дратівливість і втому. В ЄС шум від транспорту визнано другою за масштабом екологічною загрозою після забруднення повітря.

Автомобілі займають величезні площі міських територій – проїжджі частини, стоянки, гаражі. У середньому до 50% площі центральних районів великих міст відведено під автомобільні потреби. Це обмежує розвиток громадських просторів, зелених зон, пішохідних і велосипедних шляхів. У результаті місто втрачає людський масштаб – простір орієнтується не на пішохода, а на автомобіль, що знижує соціальну взаємодію, безпеку та привабливість середовища.

Масова автомобілізація сприяє «індивідуалізації пересування» – люди рідше користуються громадським транспортом, менше спілкуються між собою, зростає відчуття ізоляції. Крім того, автомобіль стає символом соціальної нерівності – доступ до транспорту визначає можливість отримання роботи, освіти, послуг.

Знаходження людей в умовах постійного шуму, смогу та перевантажених доріг знижує загальну якість життя, збільшує рівень стресу й емоційного виснаження. За оцінками Світового банку, транспортні затори та пов'язані з ними проблеми можуть коштувати містам до 2–5% ВВП щороку. До того ж витрати на паливо, ремонт доріг, медичні послуги та утримання відповідної інфраструктури постійно зростають. Дослідження показують, що розвиток громадського транспорту, велосипедної та пішохідної інфраструктури може бути в 5–10 разів ефективнішим економічно, ніж розширення автомобільних шляхів [3].

Майбутнє комфортного міського життя полягає не у збільшенні кількості машин або ширини доріг, а у створенні «збалансованої системи мобільності», де легковий автомобіль – це лише один із допоміжних елементів, а не головний чинник існування міста. Відповідно формується велика кількість нових концепцій урбаністичного вигляду міст і структури їх транспортних систем.

Концепція «15-хвилинного міста» – жителі мають отримувати доступ до роботи, магазинів, шкіл і медичних закладів у межах 15 хвилин руху пішки чи велосипедом. Це зменшує залежність від автомобілів і розвантажує міські дороги [4].

Концепція зменшення субурбанізації – в США та Європі поступово зменшується тенденція виїзду до приватних будинків у передмістях [5]. Замість цього зростає попит на міські квартири з сучасною інфраструктурою та доступом до транспорту.

Концепція трансформації торгівлі – в багатьох містах США великі супермаркети з паркувальними майданчиками поступово замінюють компактні міські магазини, інтегровані у житлову забудову [6]. Це зменшує необхідність поїздок на автомобілях.

Концепція Modal share, як баланс видів транспорту – частка приватного транспорту в містах поступово зменшується на користь громадського та «активної мобільності» (рух велосипедами, ходьба) [7].

Сучасна урбаністика формує нову роль легкового автомобіля: від абсолютного домінування у XX столітті до допоміжного засобу пересування в XXI. Головний акцент робиться на громадський транспорт, короткі відстані пересування, компактність забудови та інтеграцію сервісів у міський простір. Саме під це провадиться створення нових логістичних систем автобусного, залізничного та іншого сполучень у містах з дотриманням тенденцій розуміння комфорту проживання жителів і з урахуванням розвитку мережевих технологій.

Список використаних джерел

1. E. Y. Tereshchenko, I. A. Koryagina, M. N. Rudenko, Z. A. Kevorkova, V. A. Yelistratov. Methodological Basis of Business Value Estimation. *International Journal of Applied Business and Economic Research,* 2017. № 11, pp. 11–18.

2. Olena Moroz, Serhii Korol, Viacheslav Yelistratov, Dmytro Moloshtan, Mykola Moroz Jr. Technology of Resource Saving of a City Passenger Vehicle for Public Use by Applying Modes and Parameters of the Gearshift Process. *International Scientific Conference Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort*. Springer Nature Switzerland. 2024/11/26. 207-214.

3. 8.1 – Transportation and the Urban Form. URL https://transportgeography.org/contents/chapter8/transportation-urban-form/.

4. The 15-Minute City. Putting people at the center of urban transformation. URL https://en.wikipedia.org/wiki/15-minute_city.

5. Rethinking Suburban Development: New Trends in Creating Livable Communities. URL https://www.planetizen.com/blogs/134312-rethinking-suburban-development-new-trends-creating-livable-communities.

6. From Urban Markets to Suburban Sprawl: Grocers Testing New Territories. URL https://foodinstitute.com/focus/from-urban-markets-to-suburban-sprawl-grocers-testing-new-territories/

7. Modal share and space allocation. URL https://en.wikipedia.org/wiki/Modal_share.

Павленко Олександр Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: alexander6170101@gmail.com

Єлістратов Вячеслав Олександрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: yelisslava@gmail.com

Харьков Олександр Андрійович – старший викладач кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: alexkharkov37@gmail.com

Сидоренко Артем Вячеславович – студент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: yelisslava@gmail.com

Pavlenko Oleksandr V. – PhD (Tech.), Associate Professor of the Department of automobiles and tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: alexander6170101@gmail.com

Yelistratov Viacheslav O. – PhD (Tech.), Associate Professor of the Department of automobiles and tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: yelisslava@gmail.com

Kharkov Olexandr A. – Senior Lecturer of the Department of automobiles and tractors Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: alexkharkov37@gmail.com

Sydorenko Artem V. – student of the Department of automobiles and tractors Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: yelisslava@gmail.com

УДК 629.3.015

М.М. Перегуда, В.П. Шумляківський

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ: АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАХИСТУ АКУМУЛЯТОРНИХ БЛОКІВ

Розглянуто доцільність застосування стільникової структури та термопластичних композитних матеріалів для виготовлення корпусу силової акумуляторної батареї та покращення пасивної безпеки автомобіля шляхом використання новітніх матеріалів.

Ключові слова: *електромобіль, корпус силової акумуляторної батареї, пасивна безпека, стільникова структура, композитні матеріали.*

The feasibility of using a honeycomb structure and thermoplastic composite materials for manufacturing battery case and improving the passive safety of an electric vehicle through the use of advanced materials is considered.

Keywords: *electric car, battery housing, passive safety, honeycomb structure, composite materials.*

Електрична мобільність перестала бути концепцією майбутнього і стала визначальним трендом сучасного автомобілебудування. Однак масове впровадження електромобілів ставить перед інженерами принципово нові виклики у сфері пасивної безпеки. На відміну від автомобілів з ДВЗ, де основні компоненти силової установки відносно міцні, в електромобілях найважливішим і водночас найвразливішим елементом є силова акумуляторна батарея. Її пошкодження внаслідок ДТП може призвести не лише до дороговартісного ремонту, але й до неконтрольованої хімічної реакції — термічного розгону, що супроводжується займанням і становить смертельну небезпеку для пасажирів.

Тому розробка ефективних систем захисту акумуляторних блоків є пріоритетним завданням для всієї галузі. Конструкція корпусу батареї повинна не просто витримувати навантаження, а й ефективно поглинати та розсіювати кінетичну енергію удару. У цій статті проаналізовано два передових підходи до вирішення цієї проблеми: використання інноваційних термопластичних композитів та застосування стільникових структур для створення легких та надзвичайно міцних захисних корпусів.

Акумуляторний блок в сучасних електромобілях зазвичай інтегрований у платформу кузова, формуючи частину силової структури. Таке розташування знижує центр ваги та покращує керованість, але водночас робить батарею вразливою до кількох типів загроз:

1. Фронтальні та бічні зіткнення: Ударні навантаження можуть призвести до деформації кузова, яка передається на корпус акумулятора;
2. Удари знизу: Наїзд на перешкоди (бордюри, дорожні нерівності, сторонні предмети) може спричинити пряме пошкодження днища корпусу;
3. Вібраційні та ударні навантаження: Постійний вплив під час руху по неякісному дорожньому покриттю.

Тому ідеальний захисний корпус повинен бути не лише міцним, але й легким, щоб не зменшувати запас ходу, а також здатним деформуватися контрольованим чином, поглинаючи максимум енергії удару.

Інноваційні термопластичні композитні корпуси.

Одним з найперспективніших напрямів є відмова від традиційного металу на користь сучасних композитних матеріалів [1]. Дослідження корпусу, виготовленого з листового термопластичного компаунду на основі смоли Elium®, армованої скловолокном, демонструє значні переваги для автомобіля в цілому.

Комп'ютерне моделювання в середовищі LS-DYNA та натурні випробування показали, що такий корпус ефективно протистоїть ударним навантаженням. При зіткненні з перешкодою енергія удару розсіюється за рахунок локальних деформацій та руйнувань композитної структури, тоді як внутрішній простір, де знаходяться акумуляторні елементи, залишається неушкодженим. На відміну від металу, який при сильному ударі може деформуватися і пошкодити елементи батареї, композитний корпус поглинає енергію, зберігаючи захисний об'єм (рис. 1).

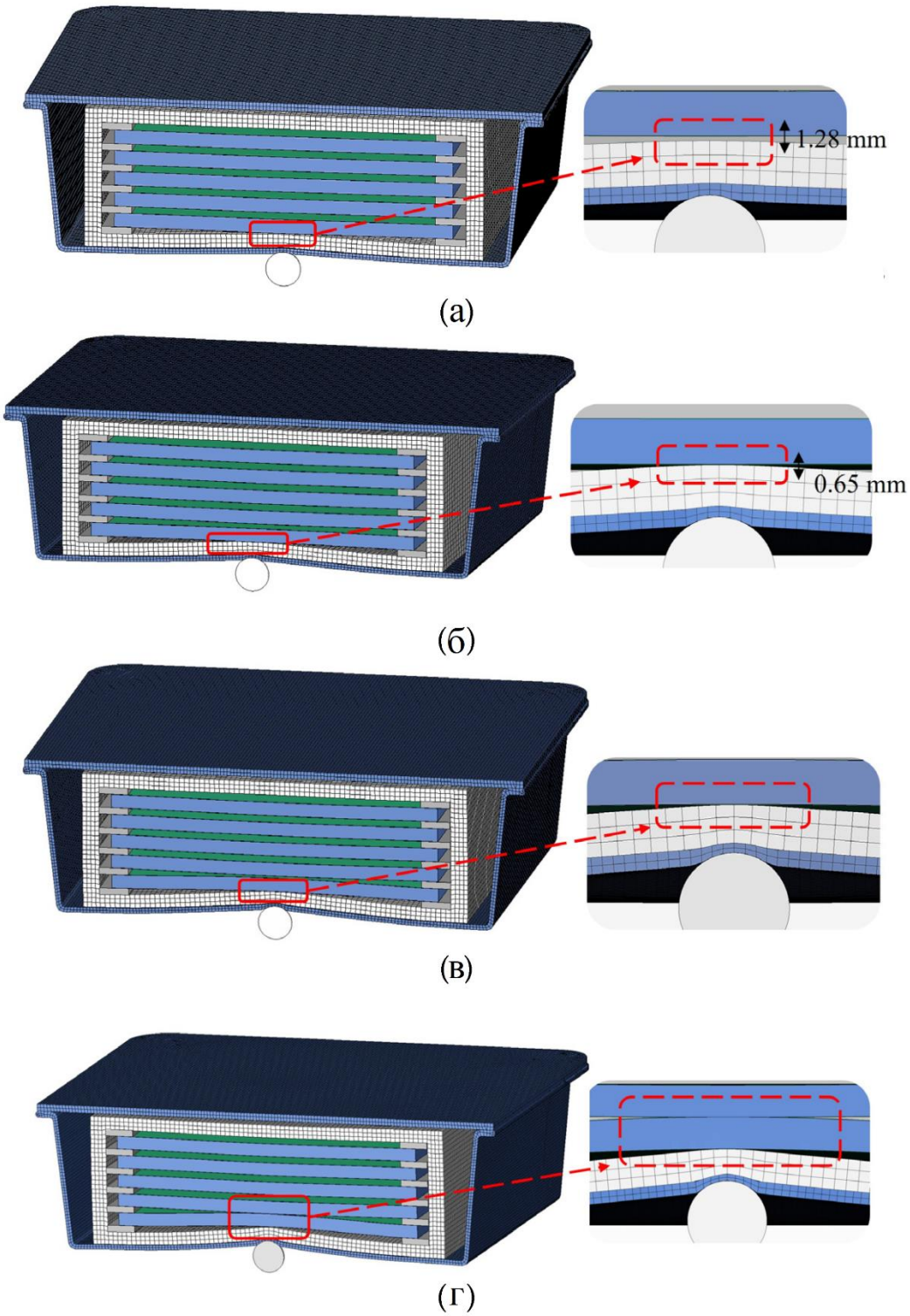


Рисунок 1 – Деформація корпсу батарей при різній швидкості удару: (а) 10 м/с, (б) 15 м/с, (в) 20 м/с та (г) 25 м/с

Внаслідок використання термопластичних композитних корпусів батареї отримаємо покращення експлуатаційних властивостей автомобіля.

Зниження ваги: Термопластичний корпус значно легший за сталевий чи алюмінієвий аналог, що напряму веде до збільшення запасу ходу та покращення динамічних характеристик автомобіля.

Підвищення пасивної безпеки: Висока енергопоглинаюча здатність матеріалу підвищує загальний рівень захисту пасажирів при ДТП.

Екологічність: Можливість повної вторинної переробки термопластів відповідає сучасним вимогам сталого виробництва.

Застосування стільникових структур для поглинання енергії.

Іншим високоефективним методом захисту є використання деформованих елементів зі стільниковою структурою [2]. Ці структури, що імітують бджолині стільники, відомі своїм унікальним співвідношенням міцності до ваги. В контексті захисту акумуляторів, алюмінієві або композитні стільникові панелі встановлюються між зовнішньою стінкою корпусу та акумуляторними модулями.

Дослідження показують, що при ударі стільникова структура послідовно зминається, поглинаючи величезну кількість кінетичної енергії при відносно невеликій деформації. Це дозволяє ефективно "гасити" силу удару до того, як вона досягне крихких акумуляторних елементів. Оптимізація дизайну стільникових структур, зокрема товщини стінок та розміру комірок, дозволяє налаштувати захисні властивості під конкретні сценарії ДТП та значно зменшити деформацію під час експлуатації (рис. 2).

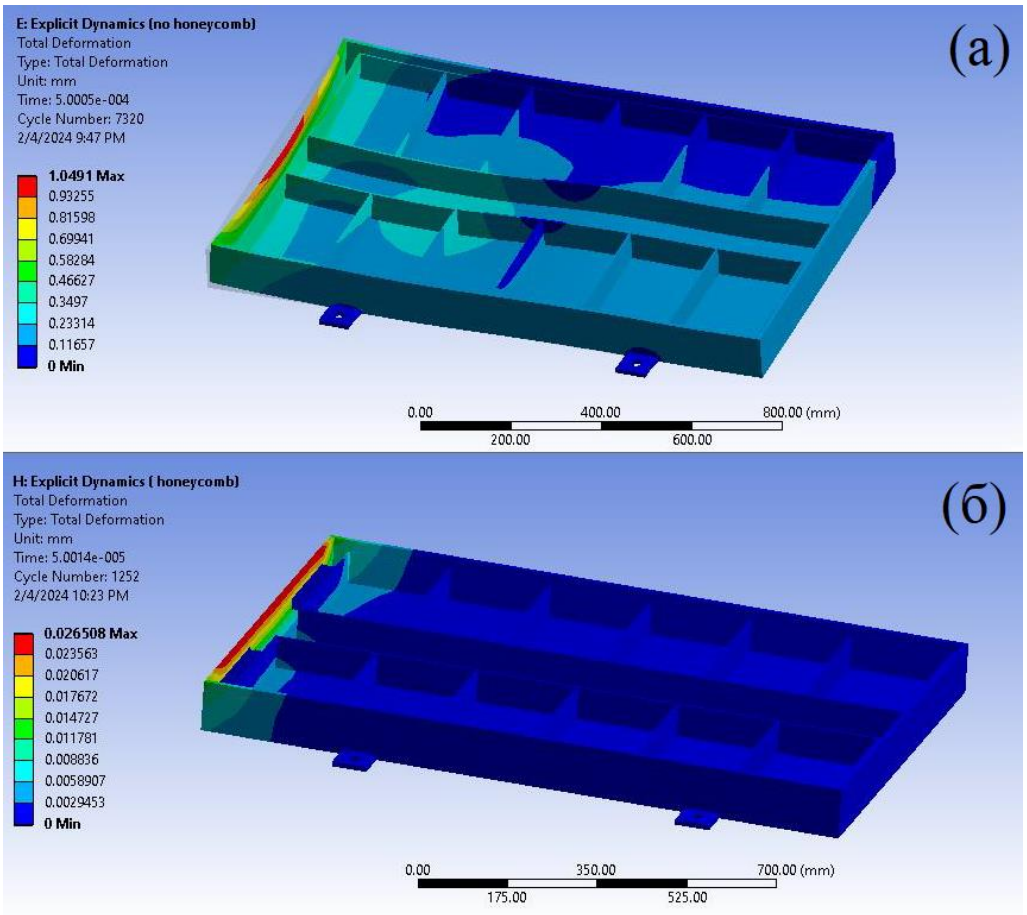


Рисунок 2. Порівняння деформації корпусів без стільникової структури (а) і з використанням стільникової структури (б) [3].

Застосування стільникових структур корпусів батареї позитивно вплине як на конструкцію, так і на експлуатаційні характеристики автомобіля.

Стільникові структури є одними з найефективніших пасивних демпферів з високим енергопоглинанням, що дозволяє значно знизити пікові перевантаження, які діють на кузов та пасажирів під час аварії.

Можливість змінювати параметри стільників дозволяє інженерам створювати зони з програмованою деформацією, що є ключем до відповідності сучасним стандартам краш-тестів (Euro NCAP, NHTSA).

Висока ефективність стільникових структур корпусу батареї дозволяє створювати тонші, але не менш надійні захисні шари, звільнити більше простору для розміщення акумуляторних елементів і, відповідно, збільшення ємності батареї.

Обидва підходи демонструють значні переваги над традиційними металевими корпусами. Їх порівняльна характеристика наведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння технологій захисту акумуляторних блоків

Параметр	Традиційний сталевий корпус	Термопластичний композитний корпус	Корпус зі стільниковими елементами
Вага	Висока	Низька	Дуже низька
Енергопоглинання	Середнє	Високе	Дуже високе
Можливість переробки	Висока	Висока (для термопластів)	Середня
Вплив на запас ходу	Негативний	Позитивний	Дуже позитивний
Рівень безпеки	Базовий	Високий	Максимальний

Висновок

Безпека акумуляторної батареї є наріжним каменем у проектуванні сучасних та майбутніх електромобілів. Розглянуті інноваційні рішення — корпуси з термопластичних композитів та захисні елементи зі стільниковою структурою — демонструють значний крок уперед порівняно з традиційними підходами.

Ці технології дозволяють не лише підвищити рівень виживання акумуляторного блоку при ДТП, а й позитивно впливають на ключові характеристики автомобіля: зменшують вагу, збільшують запас ходу, покращують динаміку та керованість. Цілком імовірно, що майбутні конструкції поєднуватимуть обидва підходи: наприклад, зовнішній корпус з легкого та міцного термопластичного композиту, доповнений внутрішніми стільниковими демпферами в найбільш критичних зонах. Такий комплексний підхід дозволить створювати електромобілі, які будуть не лише екологічними та ефективними, а й максимально безпечними для водія, пасажирів та оточуючих.

Список використаних джерел

1. Fragiadaki, A. Impact Response of a Thermoplastic Battery Housing for Transport Applications. Patras, Greece: University of Patras, 2025.

2. Ashvin Dhoke. Optimal design of honeycomb battery pack enclosure for electric vehicle. Lavale, India: Symbiosis International University, 2024.

3. Abhishek Agarwal. Crashworthiness Evaluation of Electric Vehicle Battery Packs Using Honeycomb Structures and Explicit Dynamic Analysis. Phuentsholing, Bhutan: Royal University of Bhutan, 2024.

Перегуда Михайло Миколайович – аспірант кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Житомирська політехніка

Шумляківський Володимир Петрович – доцент кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Житомирська політехніка

Pereguda Mykhailo Mykolayovych – graduate student of the Department of mechanical engineering and road transport, Zhytomyr Polytechnic

Shumliakivskyi Volodymyr Petrovych - Associate Professor of the Department of mechanical engineering and road transport, Zhytomyr Polytechnic

УДК 629.33:004.738.5

В.П. Петленко, О.Л. Ляшук, А.В. Гриньків, С.О. Магопець, С.В. Лисенко

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ ВПРОВАДЖЕННЯМ ТЕЛЕМАТИЧНИХ СИСТЕМ

Розглянуто сучасні тенденції розвитку інтелектуальних транспортних систем та їхнє значення у підвищенні ефективності, безпеки й екологічності автомобільного транспорту. Визначено основні напрями їх впровадження у контексті глобальних і національних транспортних стратегій, зокрема Національної транспортної стратегії України до 2030 року. Проаналізовано структуру та функціональні компоненти інтелектуальних транспортних систем, зокрема телематичні технології, геоінформаційні системи, системи супутникової навігації (GPS, Galileo, BeiDou) та бортові системи контролю (OBD I, OBD II, CAN-мережі). Показано роль інтеграції інтелектуальних транспортних сиситем у формуванні єдиного інформаційного простору транспорту, що забезпечує моніторинг технічного стану транспортних засобів, управління транспортними потоками, зниження енергоспоживання та підвищення рівня безпеки дорожнього руху. Визначено перспективи застосування смарт-тахографів і телематичних рішень як практичних інструментів реалізації концепції "розумного транспорту".

Ключові слова: *інтелектуальні транспортні системи; телематичні технології; геоінформаційні системи; супутникова навігація; бортові системи; OBD; CAN-мережа; смарт-тахограф; транспортна стратегія; ефективність транспорту.*

The current trends in the development of intelligent transport systems and their importance in increasing the efficiency, safety and environmental friendliness of road transport are considered. The main directions of their implementation in the context of global and national transport strategies, in particular the National Transport Strategy of Ukraine until 2030, are determined. The structure and functional components of intelligent transport systems are analyzed, in particular telematic technologies, geoinformation systems, satellite navigation systems (GPS, Galileo, BeiDou) and on-board control systems (OBD I, OBD II, CAN networks). The role of the integration of intelligent transport systems in the formation of a single transport information space, which provides monitoring of the technical condition of vehicles, management of traffic flows, reduction of energy consumption and increase in the level of road safety, is shown. The prospects for the use of smart tachographs and telematic solutions as practical tools for implementing the concept of "smart transport" are determined.

Keywords: *intelligent transport systems; telematics technologies; geographic information systems; satellite navigation; on-board systems; OBD; CAN network; smart tachograph; transport strategy; transport efficiency.*

Сучасний автомобільний транспорт являє собою складну технічну систему, процес управління якою супроводжується значними труднощами. Рівень ефективності її функціонування безпосередньо залежить від технічного стану транспортних засобів і умов їх експлуатації.

У транспортній політиці більшості розвинених країн спостерігається тенденція до активного впровадження телематичних та інтелектуальних транспортних систем (ІТС), що розглядаються як дієвий інструмент підвищення ефективності використання автомобільного транспорту. Зокрема, такі системи забезпечують:

- автоматизоване регулювання транспортних потоків;
- прогнозування технічного стану транспортних засобів;
- контроль і облік технологічних та інформаційних потреб учасників транспортного процесу;
- підвищення безпеки та ефективності транспортних операцій.

Інтеграція сучасних інформаційних, комунікаційних і автоматизованих технологій у транспортну інфраструктуру та безпосередньо у транспортні засоби створює умови для управління транспортними потоками, моніторингу місцезнаходження автомобілів і вантажів, а також контролю їхніх експлуатаційних параметрів у реальному часі.

Необхідність застосування ІТС зумовлена суттєвим зростанням кількості колісних

транспортних засобів у великих містах, що спричиняє транспортні затори й негативно впливає на екологічний стан урбанізованих територій. Одним із ключових чинників виникнення заторів є дефіцит оперативної інформації для користувачів КТЗ щодо дорожньої ситуації та взаємодії елементів транспортної системи (інфраструктура – транспортний засіб – оператор).

Складна ситуація у сфері міського транспорту зумовила переорієнтацію транспортної політики з нарощування кількості магістралей на підвищення їх пропускної здатності та якості функціонування. Важливим кроком у цьому напрямі стало започаткування проєкту IVHS (Intelligent Vehicle Highway Systems) у 1991 році після ухвалення закону ISTEA (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act). Згідно з цим законом, головною метою ініціативи визначено створення економічно ефективної національної інтермодальної транспортної системи, здатної забезпечити конкурентоспроможність держави на світовому ринку та ефективне перевезення пасажирів і вантажів з мінімальними енергетичними витратами.

Сьогодні зазначені технології об'єднано під загальною назвою інтелектуальні транспортні системи (ІТС). Їхнє впровадження сприяє підвищенню надійності, безпеки та енергоефективності транспортних процесів, а також зменшенню негативного впливу транспорту на довкілля.

Пріоритетною сферою розвитку ІТС є автомобільний транспорт, оскільки залізничний сектор уже досяг значного рівня технологічної зрілості, тоді як удосконалення саме автомобільного транспорту та його взаємодії з іншими видами перевезень має найбільший потенціал. Водночас ІТС не можуть повністю замінити раціональну транспортну політику, ефективне управління галуззю та розвиток відповідної інфраструктури, що залишається актуальною потребою сучасних міст.

Ключовим завданням муніципалітетів є визначення можливостей інтеграції ІТС у систему управління міським транспортом, створення концептуальної основи для послідовного розвитку ІТС, а також використання накопиченого міжнародного досвіду для побудови власних ефективних моделей. Хоча багато міст орієнтуються на практики розвинених країн, вони здатні адаптувати ці рішення до локальних умов, забезпечуючи швидший перехід до більш ефективних транспортних систем.

Інтелектуальні транспортні системи становлять сукупність сучасних розробок у галузі комп'ютерних, інформаційних і телекомунікаційних технологій, орієнтованих на транспортний сектор. Їхнє застосування забезпечує управління транспортними потоками, технічними засобами та логістичними мережами в режимі реального часу, охоплюючи переміщення пасажирів і вантажів.

Згідно з класифікацією, запропонованою Міжнародною організацією стандартизації (ISO), потенційні напрями впровадження ІТС описуються через 44 користувацькі сервіси, згруповані в 11 функціональних вузлів, що охоплюють інфраструктуру, транспортні засоби та користувачів.

Користувачами інтелектуальних транспортних систем виступають фізичні особи, власники транспортних засобів та об'єктів транспортної інфраструктури. Більшість послуг ІТС не використовуються окремо, оскільки між ними існують тісні функціональні та інформаційні взаємозв'язки.

Логічна структура ІТС визначає сукупність процесів і функцій, необхідних для реалізації користувацьких сервісів. Вона представлена у вигляді дев'яти дерев функціональних процесів, що охоплюють такі складові, як управління рухом колісних транспортних засобів (КТЗ), організація технічного обслуговування та сервісного забезпечення водіїв, моніторинг і контроль технічного стану КТЗ тощо.

Згідно з Директивою 2010/40/ЄС Європейського парламенту та Ради, під інтелектуальними транспортними системами розуміють комплекси, що поєднують інформаційно-комунікаційні технології у сфері автомобільного транспорту. Вони охоплюють транспортну інфраструктуру, транспортні засоби, користувачів, процеси управління транспортними потоками та мобільністю, а також взаємодію з іншими видами транспорту.

Відмінною рисою сучасних ІТС є трансформація ролі транспортного засобу — від «самостійного об'єкта управління» до «активного елемента» транспортно-інформаційного простору. У цьому контексті важливим напрямом розвитку стає формування телематичного комплексу дорожньої інфраструктури, тоді як автоматизація транспортного засобу перетворюється на одну з ключових технологій ІТС.

Починаючи з 2004 року, транспортний комітет Європейської економічної комісії ООН ініціював обговорення проблематики ІТС, а у 2012 році було розроблено Дорожню карту розвитку інтелектуальних транспортних систем, що визначила пріоритети та етапи їх упровадження.

В умовах інтенсивного зростання кількості КТЗ у містах України питання підвищення безпеки руху шляхом впровадження інноваційних інтелектуальних транспортних технологій набуває особливої актуальності. Цей аспект відображений у Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року, серед завдань якої передбачено:

- адаптацію транспортного сектору до європейських стандартів;
- усунення проблем транспортних заторів, особливо на автомобільних дорогах;
- підвищення рівня безпеки руху та зниження кількості ДТП;
- підвищення ефективності транспортних процесів;
- активізацію науково-дослідної діяльності у галузі транспорту;
- завершення формування транс'європейської транспортної мережі (TEN-T);
- удосконалення інтеграції автомобільного, залізничного, авіаційного, морського та внутрішнього водного транспорту в єдину логістичну систему.

Реалізація цілей «Транспортної стратегії України до 2030 року» можлива, зокрема, через впровадження телематичних систем, які забезпечують інтеграцію інфраструктурних об'єктів, транспортних засобів та користувачів (операторів) КТЗ у єдине інформаційне середовище.

Одним із практичних прикладів телематичних рішень є смарт-тахограф — пристрій другого покоління цифрових тахографів, оснащений функціями визначення географічних координат і бездротової передачі даних у реальному часі. Його робота базується на використанні супутникових систем позиціонування (GNSS) та технологій короткодіючого зв'язку (DSRC).

Смарт-тахографи мають технічну можливість взаємодії з іншими телематичними сервісами, такими як системи інтелектуального паркування чи електронної оплати проїзду, завдяки гармонізованому інтерфейсу ІТС, що використовує DSRC-з'єднання.

Впровадження смарт-тахографів сприятиме підвищенню соціального захисту водіїв, безпеки дорожнього руху, забезпеченню добросовісної конкуренції на ринку автоперевезень, запобіганню маніпуляціям із даними тахографів, вдосконаленню регламентів діяльності майстерень з їх обслуговування, а також зниженню адміністративних витрат завдяки автоматизації контролю режимів праці та відпочинку водіїв.

Серед сучасних технологій, що істотно підвищують ефективність управління КТЗ, важливе місце займають геоінформаційні системи (ГІС). Вони об'єднують бази даних та технології аналітичної обробки інформації, забезпечуючи можливість прийняття експертних рішень у різних експлуатаційних умовах. Таким чином, ГІС є невід'ємною складовою ІТС.

Водночас ефективність використання ГІС безпосередньо залежить від інтеграції з системами позиціонування та навігації, що визначають місцезнаходження транспортних засобів і траєкторії їх руху. Такі системи сьогодні широко застосовуються у різних видах транспорту та є ключовим елементом навігаційних і телематичних технологій.

Основу сучасних навігаційних комплексів становлять системи реалізації навігаційних обчислень (СРНО), головним призначенням яких є визначення просторово-часових координат об'єкта або користувача. Забезпечення безперервності та високої точності навігаційного процесу можливе лише за наявності трьох взаємопов'язаних складових:

– системи космічних апаратів, що формують орбітальну мережу навігаційних супутників;

– системи контролю та управління, яка представлена наземними командно-вимірювальними комплексами;

– апаратури користувача, або навігаційного приймача.

До найбільш відомих глобальних супутникових систем навігації належать:

GPS (Global Positioning System) — американська глобальна система позиціонування, що забезпечує визначення географічних координат і висоти розташування об'єкта з точністю від 2 до 5 метрів;

Galileo — європейська система супутникової навігації;

BeiDou — китайська система космічної радіонавігації.

Для взаємодії із супутниковими навігаційними системами застосовується спеціалізований пристрій, розміщений безпосередньо на об'єкті спостереження — GPS-навігатор. У сучасних

моделях він може одночасно використовувати сигнали кількох систем, зокрема GPS, Galileo та BeiDou.

За функціональним призначенням GPS-навігатори поділяються на три основні категорії:

– портативні пристрої, що використовуються у туризмі, транспорті та спорті;

– вбудовані модулі, інтегровані в інші електронні прилади (зокрема смартфони);

– GPS-трекери та GPS-логери, які здійснюють запис і передачу координат на сервер для супутникового моніторингу транспортних засобів, людей або об'єктів.

Окрім геоінформаційних і навігаційних систем, до складу елементів ІТС входять і вбудовані бортові системи сучасних колісних транспортних засобів (КТЗ). Вони функціонують як інтегровані комп'ютерні комплекси, функціональні можливості яких постійно розширюються відповідно до еволюції транспортних технологій.

Початково розвиток бортових систем КТЗ пов'язаний із впровадженням систем самодіагностики, які були індивідуальними для кожної моделі автомобіля та дозволяли виявляти несправності під час технічного обслуговування. Першою стандартизованою системою діагностики стала OBD I (On-Board Diagnostics I), запроваджена у 1988 році в штаті Каліфорнія (США). Наступним етапом розвитку стала система OBD II, що з'явилася у 1994 році.

Головна відмінність OBD II полягає у розширених функціях контролю: система не лише фіксує наявність сигналів від датчиків та виконавчих елементів, але й перевіряє їхню достовірність. Наприклад, якщо датчик температури передає значення 10 °C при працюючому двигуні, система OBD II розпізнає це як аномалію, тоді як OBD I вважала б таку ситуацію справною.

Первісним завданням систем OBD було забезпечення контрольно-діагностичних функцій, що дозволяли виявляти несправності, які могли спричинити перевищення допустимих норм викидів шкідливих речовин. З часом, завдяки розвитку технологій електронного управління, сучасна система OBD перетворилася на універсальний інструмент моніторингу технічного стану КТЗ.

Усі електронні компоненти автомобіля об'єднані у єдину бортову мережу CAN (Controller Area Network), що забезпечує обмін даними між системами двигуна, трансмісії, гальмування, безпеки тощо. Розширення можливостей цієї мережі дозволяє користувачам здійснювати дистанційний моніторинг технічних параметрів транспортного засобу в режимі реального часу.

Таким чином, саме інтегровані бортові системи КТЗ виступають одним із ключових елементів інтелектуальних транспортних систем, перетворюючи сучасний автомобіль із традиційного механічного об'єкта на складову частину телематичного простору ІТС.

Список використаних джерел

1. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.] ; під заг. ред. В. В. Ауліна. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. - 428с.

2. Формування логістичної інформаційної системи ефективного управління транспортними і виробничими підприємствами / В. В. Аулін, О. Л. Ляшук, А. В. Гриньків [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 9(40). - Ч. 2. - С. 204-218.

3. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Чернай А.Є., Голуб Д.В., Головатий А.О. Теоретичне обґрунтування управління функціонуванням технічними та транспортними системами на основі методів системної теорії інформації // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2021. Вип. 4(35). С.178-189.

4. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). С.331-343.

Петленко Володимир Павлович **–** аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: tpetlenko@ukr.net

Ляшук Олег Леонтійович **–** д.т.н., професор, перший проректор Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Гриньків Андрій Вікторович – к.т.н., старший дослідник, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Магопець Сергій Олександрович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: magserg@ukr.net

Лисенко Сергій Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: sv07091976@gmail.com

Petlenko Volodymyr P. – postgraduate student of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: tpetlenko@ukr.net

Lyashuk Oleh L. – Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Ternopil, e-mail: oleglashuk@ukr.net

Hrynkiv Andriy V. – Ph.D., Senior Researcher, Senior Lecturer, Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Magopets Serhii O. – Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: magserg@ukr.net

Lysenko Serhii V. – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: sv07091976@gmail.com

УДК 621.923

М.В. Пікула

ВИДАЛЕННЯ ОБЛОЮ НА ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЯХ ПРИ ВІДЦЕНТРОВО-ПЛАНЕТАРНІЙ ОБРОБЦІ

В статті розглядається проблема зачищувальної обробки полімерних матеріалів. Зокрема, досліджується механізм видалення облою з полімерних деталей при об'ємній обробці у відцентровій установці, яка здійснює планетарний рух з періодичним коливанням робочих камер.

Ключові слова: *полімерна деталь, облой, зачистка, тріщина, механізм руйнування, відцентрово-планетарна обробка.*

The article considers the problem of polishing processing of polymeric materials. In particular, the mechanism of removing scale from polymeric parts during volumetric processing in a centrifugal installation that performs planetary motion with periodic oscillation of the working chambers is investigated.

Key words: *polymer detail, flash, trimming, split, destruction mechanism, centrifugal planetary processing.*

У конструкції сучасних автомобілів щораз більше застосовують різноманітні полімери, які за хімічною природою розділяють на термопластичні (термопласти)та термореактивні (реактопласти). Термопластичні полімерні матеріали є високомолекулярними матеріалами, які розмякшуються чи навіть плавляться при нагріванні. Термореактивні матеріали вимагають незворотного перетворення низькомолекулярної базової смоли на полімеризовану структуру.

Застосування пластмас у конструкції автомобілів дозволяє знизити матеріалоємність, підвищити безпеку та надійність виробів, скоротити трудомісткість виготовлення за рахунок високої технологічності виробництва. Широке застосування пластиків обумовлено їх якостями, зокрема такими як корозійна стійкість, мала питома вага, густина, опір електричному струму. По цих і деяких інших показниках пластики перевершують традиційні для автомобільної галузі матеріали.

Для виготовлення термо- та шумоізоляції підлоги використовується формований пінополіуретан. Поручні, рульові колеса та підлокітники виготовляють із інтегрального пінополіуретану. Жорсткий пінополіуретан застосовують для виробництві панелей, кришок люка дверей. Поліпропілен служить для виготовленні повітропроводів та повітрозабірників, панелей приладів, різного облицювання. Різноманітні склопластики знайшли застосування при виготовленні крил, сонцезахисних козирків, бамперів, антикрил. З поліетилену виготовляють корки та заглушки. ABS-пластик знайшов застосування при виробництві декоративних накладок, окантовок, корпусів дзеркал. З термоеластопластів виготовляють ковпачки, прокладки, трубки.

Таким чином можна констатувати, що використання пластмас в автомобілебудуванні можна вважати усталеною нормою з позитивною тенденцією розвитку. При цьому для формотворення виробів використовують автоматизоване обладнання, тоді як на допоміжних операціях, зокрема - видалення облоя - ще широко застосовують ручну працю.

Причиною утворення облою є затікання розплавленого полімеру в зазори нещільно зімкнутих ливарних форм (прес-форм). На готовій деталі він проявляється у вигляді тонкостінних плівок (перетинок) на стику елементів прес-форми.

Трудомісткість зачисних операцій сягає 80% від загальних трудовитрат виробництва пластмасових деталей. Тому пошук ефективної технології, що дозволяє знижувати витрати на цих операціях, є актуальною задачею. Одним з перспективних напрямків у галузі оздоблювально-очисних технологій є використання вібраційних технологій і їх різновидностей - механізоване видалення облою з деталей з полімерних матеріалів за рахунок впливу на нього металевого наповнювача в робочій камері верстата. У машинобудуванні знайшли застосування галтувальні, вібраційні, відцентрово-ротаційні та відцентрово-планетарні верстати.

Відцентрово-ротаційна та відцентрово-планетарна обробки полімерних деталей відрізняються більш високою продуктивністю, обумовленою значними швидкостями взаємодії деталей та робочих тіл завантаження. Однак недосконаліть методик визначення технологічних параметрів призводить до необхідності трудомісткого емпіричного відпрацювання режимів у

виробничих умовах, що суттєво підвищує витрати.

Тому важливо вивчити динамічні характеристики процесу взаємодії робочих тіл та деталей, які мають забезпечити контактні сили, достатні для якісного видалення облою. При цьому необхідно враховувати, що інтенсивні режими обробки можуть призвести до руйнування конструктивних елементів деталі. У той же час, якщо температура матеріалу деталі не забезпечує його переходу в крихкий стан, то облой може бути видалений лише при неодноразовому впливі на нього металевого наповнювача. За такого характеру руйнування складно прогнозувати час видалення облою.

На основі викладеного можна визначити умови, виконання яких забезпечить якісне видалення облою на деталях з полімерів:

– матеріал облоя повинен бути у крихкому стані протягом усього циклу обробки;

– при механічному впливі на ділянку облою в її основі має виникнути напруга, що перевищує напругу, необхідну для руйнування полімерного матеріалу в захищеному стані;

– сили контактної взаємодії робочого тіла та деталі не повинні призводити до руйнування чи пошкодження деталі.

Умовою крихкої руйнації облої є формування тріщини, що виникла в момент взаємодії або існувала раніше. Теорію формування тріщин з крихким характером руйнування викладено в роботі Гріффітса [1], в якій розглянуто баланс енергії пружної деформації та енергії поверхневого натягу у вершині тріщини та запропоновано критерії для визначення початку поширення тріщини.

Відомо, що реальне руйнування матеріалів відбувається при напруженнях на порядок менша від теоретичного значення. За теорією Гріффітса - це наслідок наявності мікротріщин у матеріалі деталей. Енергія пружного деформування витрачається збільшення поверхневої енергії зростаючої тріщини. Руйнування матеріалу відбувається, коли енергія пружного деформування стає достатньою для утворення нової поверхні.

При дії на облой робочого тіла з силою, достатньою для створення в його основі напруги руйнування, утворюється мікротріщина. Після цього відбудеться перерозподіл напруги по сусідніх ділянках і можливий крихке сколювання частинки облою. Якщо сколювання не відбудеться, то воно реалізується при повторних впливах на цю ділянку. Передбачається [2], що якщо первинне вплив робочим тілом на облой не призводить до сколу останнього, то в зоні контакту формується мікротріщина, яка є зародком магістральної тріщини, що утворюється при наступних впливах.

Для визначення енергії деформації полімерних зразків при зіткненні з металевим наповнювачем при відцентрово-планетарній зачисній обробці необхідно знайти силу, що діє на окрему деталь в ущільненому сегменті завантаження.

Розглянемо принципову схему здійснення способу зачищення облою у деталей з полімерних матеріалів у робочих камерах з планетарним обертанням [3].

Робоче середовище, що складається з полімерних деталей і металевого наповнювача (стальних куль), поміщають у стальні циліндричні камери, які здійснюють планетарний рух зі швидкістю ω_1 навколо осі водила і швидкістю ω_2 навколо власної осі. Для підвищення інтенсивності обробки робочим камерам надається коливний рух. При обертанні робочих камер в них під дією інерційних сил відбувається ущільнення робочого середовища, формується ковзний шар, твердотільна зона (що переміщується стінкою камери) та зона відносного спокою поблизу центру мас, навколо якого відбувається пересипання ущільненого завантаження. Періодичні коливання робочих камер підвищують взаємне переміщення маси завантаження і, відповідно, інтенсивність обробки, яка є результатом дискретної контактної взаємодії стальних куль у вигляді великої кількості мікроударів з оброблюваною деталлю.

Варто зазначити, що залежно від режимів планетарного руху контейнерів можлива реалізація, крім каскадного (з утворенням ковзного шару), ще водоспадного (з фазою польоту частинок робочого завантаження після відриву від стінки контейнера) або комбінованого - каскадно-водопадного характеру руху.

Тривалість циклу обробки залежить від конфігурації оброблюваних полімерних деталей та розмірів облою. По закінченні обробки для поділу полімерних деталей та металевого наповнювача вивантажують вміст робочих камер на сепаруючий пристрій. Оброблені деталі контролюють та сортують, а металевий наповнювач повторно завантажують у контейнери з

новою партією деталей та цикл обробки повторюють.

Експеримент проводили при таких вихідних даних: радіус контейнера 0,1 м, радіус водила 0,160 м, частота обертання водила 90 хв$^{-1}$, висота робочої камери 0,2 м, маса завантаження – біля 2,6 кг. В якості робочих тіл використовували стальні кулі радіусом 0,003 м.

В якості деталей були взяті зразки паралелепіпедної форми з розмірами 20х30х50 мм, матеріал – поліетилен. Маса зразка – 0,27 кг.

Результати обробка підтвердили теоретичні передбачення – процес супроводжувався стабільним видаленням облою з усіх деталей. Зниження частоти обертання водила до 75 хв$^{-1}$ призвело до появи в партії необроблених деталей, що свідчить про недостатні зусилля контактної взаємодії. Збільшення частоти обертання води до 115 хв$^{-1}$ також погіршило якість обробки, що пояснюється виникненням явища центрифугування, при якому інтенсивність перемішування деталей і робочих тіл різко зменшується.

Висновок

Викладена методика дозволяє достовірно прогнозувати результати зачисної обробки полімерних деталей у контейнерах із планетарним обертанням. На її основі підготовлено модуль САП ТП зачистної обробки.

Список використаних джерел

1. Мигалина Ю.В., Козарь О.П. Основи хімії та фізико-хімії полімерів. — К: Кондор, 2010.— 325 с.

2. Дослідження процесу видалення облою з деталей із термопластів. В. Л. Малашенко, О. М. Мещеряков, А. А. Коростельова, О. В. Лосев. https://nti.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/AKTT/2014/AKTT214/Malash.pdf

3. Пристрій для відцентрової обробки деталей. Пікула М.В., Мороз В.М. Авт. Свідоцтво №1731605. Опубл. 17.05.92. Бюл. №17

Пікула Микола Веніамінович – старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування, м.Рівне, e-mail: m.v.pikula@nuwm.edu.ua

Pikula Mikola – senior lecturer at the Department of Automobiles and Automotive Engineering at the National University of Water Engineering and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: m.v.pikula@nuwm.edu.ua

УДК 656

У.М. Плекан

РИЗИКИ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ У СУЧАСНИХ УМОВАХ: КЛАСИФІКАЦІЯ, ОЦІНКА ТА ШЛЯХИ МІНІМІЗАЦІЇ

Розглянуто сутність, класифікацію та особливості прояву ризиків у процесі здійснення вантажних перевезень. Виокремлено основні групи ризиків та охарактеризовано їх на різних фазах логістичного процесу. Проаналізовано сучасні підходи до управління ризиками відповідно до міжнародних стандартів. Особливу увагу приділено цифровим інструментам ризик-менеджменту.

Ключові слова: *ризики вантажоперевезень, логістичний процес, управління ризиками, цифровізація, транспортна безпека*.

The article examines the essence, classification, and specific features of risks arising in the process of freight transportation. The main groups of risks are identified and characterized at different phases of the logistics process. Modern approaches to risk management in accordance with international standards are analyzed. Special attention is given to digital tools of risk management.

Keywords: *freight transportation risks, logistics process, risk management, digitalization, transport safety.*

Організація вантажних перевезень у сучасних умовах супроводжується значною кількістю ризиків, які формуються під впливом технічних, організаційних, правових, економічних та соціальних факторів. Висока динаміка розвитку ринку транспортних послуг, зростаюча конкуренція та необхідність інтеграції у глобальні логістичні ланцюги зумовлюють актуальність системного підходу до ідентифікації, аналізу та управління ризиками.

З наукової точки зору доцільно класифікувати ризики вантажоперевезень на кілька груп:

1. Операційні ризики виникають під час безпосереднього виконання логістичних операцій (пакування, завантаження, транспортування, складування, розвантаження);
2. Технічні ризики пов’язані зі станом транспортних засобів, спеціального обладнання, засобів кріплення та техніки безпеки;
3. Правові ризики виникають у процесі оформлення транспортної документації, укладання договорів перевезення та розподілу відповідальності між учасниками;
4. Економічні ризики передбачають можливі фінансові втрати внаслідок пошкодження вантажу, його втрати, простоїв чи штрафів;
5. Репутаційні ризики стосуються довіри клієнтів до перевізника або логістичної компанії у разі системних збоїв чи аварій.

Розглянемо ризики на основних етапах логістичного процесу.

Фаза пакування та підготовки вантажу. Основними джерелами ризиків є недотримання правил пакування, відсутність досвіду персоналу у сортуванні та консолідації вантажів, що особливо актуально для перевезень змішаних груп товарів, що призводить до механічних пошкоджень, несумісності категорій продукції та втрат від псування.

На стадії завантаження та кріплення вантажу ключовими ризиками є порушення правил маркування, завантаження та розміщення товарів у транспортному засобі. Важливим аспектом є наявність у підприємства сучасних технічних засобів для кріплення вантажу, а також правильне оформлення товарно-транспортної документації.

На етапі транспортування ризики є найвищими за ймовірністю та масштабами наслідків. Зумовлюються дорожніми й погодними умовами, технічним станом транспортного засобу, рівнем безпеки на маршруті та професійними характеристиками водія. Вагому роль відіграє людський фактор – досвід, дисциплінованість і відповідальність перевізника.

Фаза тимчасового складування. На складах джерелами ризиків виступають відсутність належних систем безпеки (сигналізації, відеоспостереження, контроль доступу), а також неналежне пакування і розміщення тари та контейнерів. Додатковим фактором є економічна та криміногенна ситуація в регіоні розташування складу.

Фаза розвантаження. Основними ризиками є пошкодження вантажу внаслідок недбалого поводження з ним, несправність технічних засобів (вагових комплексів, навантажувачів), а також низький рівень відповідальності працівників підприємства отримувача.

У міжнародній практиці управління ризиками у сфері транспортування здійснюється на основі методології ISO 31000:2018 "Risk Management", а також інструментів FMEA, що дозволяють оцінювати ймовірність виникнення ризиків і масштаб їхніх наслідків [2]. Важливим інструментом мінімізації є страхування вантажів, так зване cargo insurance, та страхування відповідальності перевізника відповідно до положень Конвенції CMR. Останнє дає змогу компенсувати збитки від пошкодження чи втрати вантажу, а також підвищує довіру клієнтів до перевізника.

Впровадження сучасних цифрових технологій також стає ключовим фактором зниження транспортних ризиків. GPS-моніторинг та телематика дозволяють контролювати маршрут і дотримання графіку перевезень. IoT-сенсори дають змогу відстежувати умови транспортування (температуру, вологість, удари). Блокчейн-технології у сфері транспортної документації мінімізують ризики шахрайства і спрощують взаєморозрахунки [1]. Концепція "цифрового близнюка перевезення" (digital twin) передбачає створення віртуальної моделі транспортування з урахуванням усіх можливих сценаріїв і ризиків, що дає змогу прогнозувати затримки та збитки ще на етапі планування.

Ризики вантажоперевезень мають багатофакторний характер і проявляються на всіх фазах логістичного процесу. Їхня ефективна мінімізація можлива лише за умови комплексного підходу, що поєднує:

- дотримання міжнародних стандартів управління ризиками;
- застосування цифрових інструментів контролю та моніторингу;
- професійний добір персоналу та партнерів у сфері аутсорсингу;
- страхові механізми компенсації збитків.

Таким чином, інтеграція традиційних інструментів ризик-менеджменту із сучасними цифровими технологіями дозволяє не лише знизити ймовірність виникнення ризиків, але й підвищити рівень надійності, безпеки та конкурентоспроможності транспортних компаній на ринку.

Список використаних джерел

1. Kupalova, H., Didukh, N. Determining the impact of blockchain technologies on the grain supply chain tracking system in the EU / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, Vol. *6* (132), pp. 116–127. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.318931

2. Vodenicharova, M. Opportunities for the applications of FMEA Model in logistics processes in Bulgarian enterprises / *Logistics, Supply Chain & Sustainability*, 2017, Vol. 8, No. 1, pp. 31-41. DOI: 10.1515/jlst-2017-0003

Плекан Уляна Михайлівна – к.е.н., доцент, доцент кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: uliana_plekan@ukr.net.

Plekan Uliana Mykhailivna –Ph.D., Associate Professor, Associate professor of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil**,** e-mail: uliana_plekan@ukr.net.

УДК 629.113

А.П. Поляков, В.В. Варчук

ОЦІНКА ВПЛИВУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ АВТОРИЗОВАНИМИ СТАНЦІЯМИ АВТОСЕРВІСУ НА ЇХ НАДІЙНІСТЬ

Розглянуто доцільність застосування прогнозування як елемента тактики підвищення ефективності системи управління технічним станом транспортних засобів при наданні автосервісних послуг.

Ключові слова: автосервіс, агрегати, вузли, прогнозування технічного стану, транспортні засоби, ресурс.

The feasibility of using forecasting as an element of tactics for increasing the efficiency of the vehicle technical condition management system in the provision of car service services is considered.

Keywords: *car service, units, components, technical condition prediction, vehicles, resource.*

Послуги, які надають авторизовані (фірмові) станції автосервісу при продажу нового і вживаного рухомого складу, оригінальних запасних частин, супутніх товарів, припускають наявність трьох умовних рівнів (рис. 1).

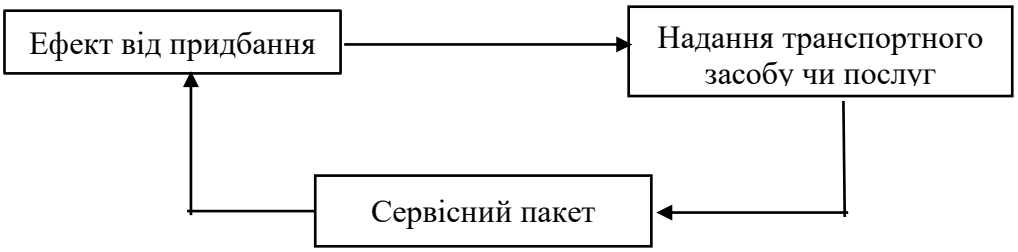


Рисунок 1 – Рівні послуг автосервісу

На першому рівні визначається ефект, який дає придбання транспортного засобу, запчастин або послуги: запасна частина для автомобіля і забезпечення її нормальної роботи - це послуга для вирішення певної проблеми споживача.

На другому рівні визначається реальне виконання транспортного засобу, запчастин або послуги: товарний вигляд, привабливість для покупця, відміну від продукції конкурентів. Сюди можна віднести товарний знак заводу-виробника, престижність запчастин, якість, надійність, безпека транспортного засобу, габарити, потужність, екологічність (наприклад, дотримання норм СО), ціна, гарантійне обслуговування тощо.

На третьому рівні формується інтегрована якість транспортного засобу, запчастини або послуги за рахунок надання споживачам додаткового сервісу: передпродажна підготовка, післяпродажне обслуговування (консультації), прояв особистої уваги до покупця, доставка, різні форми оплати, гарантійне і післягарантійне обслуговування.

Таким чином, розвиток індустрії автосервісу слід розглядати як сукупність транспортного засобу і сервісних послуг.

В умовах ринкової економіки під сервісом стали розуміти комплекс послуг, пов'язаний із реалізацією і експлуатацією транспортних засобів, а також запчастин. Сутність ринкового сервісу полягає в тому, що фірми-виробники запасних частин і супутніх товарів беруть на себе відповідальність за працездатність і надійність своєї продукції протягом всього терміну експлуатації.

Крім того, важливим критерієм збуту запасних частин для автомобілів, проведення сервісних заходів та ремонту є ефективність обслуговування споживачів.

З точки зору клієнтів, ефективність діяльності фірми характеризується здатністю забезпечити надійне функціонування пропонованих запчастин та оперативно реагувати на заявки про заміну або ремонт деталей, що вимагає значного запасу деталей та технічної компетентності працівників обслуговування. Так, питання надійності функціонування транспортного засобу

виникає одним з перших при розгляді транспорту як елементу логістичної системи. Саме цим показником значною мірою визначається надійність роботи всього логістичного ланцюга.

Компоненти, на основі яких мають формуватися стратегії управління ТО і ремонтом рухомого складу, утворюють три великі блоки - інформаційний, модельний і розрахунково-технологічний.

Перший блок (інформаційний) являє собою спеціалізовану базу даних, яка об'єднує інформацію про характеристики експлуатаційних матеріалів, номенклатуру ремонтно-відновлювальних та профілактичних впливів, деталі, що лімітують надійність вузлів і агрегатів.

Другий блок об'єднує моделі розрахунку трьох рівнів - періодичності ТО, напрацювань до проведення попереджувальних ремонтів (супутнього і вузлового) і напрацювань до капітальних ремонтів та списання. Це дозволяє залежно від наявної інформації вибирати ту чи іншу розрахункову модель.

Третій блок являє собою спеціалізовану базу додатків, що реалізують безпосередні процедури формування ремонтно-профілактичних стратегій. Розрахунки виконуються на основі результатів моделювання шляхом коригувань і узгодження напрацювань з оцінкою показників для конкретних стратегій. Передбачається можливість реалізації як прямого, так і зворотного алгоритму формування стратегій управління, а також ітераційного пошуку глобально-оптимальної стратегії при достатності інформації.

Прогнозування необхідно для управління надійністю автомобілів та їх вузлів і агрегатів. Відомо, що управління надійністю автомобілів є основною проблемою в системі обслуговування і ремонту автомобільного парку. Прогнозування технічного стану АТЗ забезпечує безперервність, точність і наукову обґрунтованість планування, підвищує оперативність і якість прийнятих рішень. Разом з тим, прогнозування буде впливати не тільки на планування, а й на інші функції управління (контроль, регулювання тощо). Функція прогнозування реалізується в наступних функціональних підсистемах управління: оперативного управління виробництвом; перспективного та поточного планування; управління технічною підготовкою виробництва. В цьому сенсі прогнозування є одним з головних резервів розвитку адаптивних властивостей системи управління працездатністю автомобілів, основою більш повного використання їх потенційних можливостей.

Прогнозування потреби в запасних частинах для автомобіля і його агрегатів, безсумнівно, повинно ґрунтуватися на вивченні тенденцій, що спостерігаються в змінах його поточного стану. В теорії технічної діагностики автомобілів цей стан представляється сукупністю значень визначених діагностичних параметрів. Таким чином, прогнозування потреби в запасних частинах повинно ґрунтуватися на прогнозуванні значень ресурсу агрегату за відповідними діагностичними показниками.

Це може здійснюватися на базі математичного апарату екстраполяції процесів, що описують закономірності зміни діагностичних (структурних) параметрів. В свою чергу використання апарату екстраполяції вимагає формалізованого опису процесів зміни діагностичних параметрів, тобто вимагає створення певної математичної моделі процесу основних сполучень агрегатів, створення методики, алгоритму прогнозування потреби в запасних частинах, як для агрегатів, так і для автомобіля.

Оцінка технічного стану сполучень ґрунтується на використанні деяких залежностей між діагностичними і структурними параметрами. Такі залежності відрізняються рядом особливостей. По-перше, вони повинні з достатньою точністю представляти технічний стан сполучення, яке діагностується; по-друге, повинні допускати вимір з необхідною точністю.

Прогнозування потреби в запасних частинах і ресурсу агрегату є багатокроковим, процесом, який не повинен бути розімкнений по відношенню до результатів прогнозування, так як вони піддаються логічному аналізу і можуть служити засобом для внесення відповідних поправок і змін до математичної моделі потреби в запасних частинах і ресурсу об'єкта.

Таким чином, прогнозування вимагає застосування переважно нової тактики управління та суттєво підвищує ефективність систем управління технічним станом автомобілів.

Застосування методів прогнозування в період експлуатації АТЗ (їх основних вузлів і агрегатів) вирішує ряд важливих завдань і дозволяє:

- обґрунтувати терміни профілактичних робіт, тобто визначається час майбутньої відмови об'єкта;

- оптимізувати програму пошуку несправностей у зв'язку з визначенням вузлів, в яких очікується відмова;

- обмежити кількість обслуговуючого персоналу шляхом автоматизації процесу прогнозування і визначення стану автомобіля на певний майбутній період часу;

- визначити кількість запасних частин, обчислюючи число агрегатів і вузлів, в яких очікується відмова на заданому інтервалі експлуатації автомобілів.

Рішення поставлених завдань доцільно здійснювати за допомогою індивідуальних методів прогнозування ресурсу силових агрегатів (наприклад двигунів), які передбачають визначення потреби в запасних частинах для них, виходячи з їх фактичного стану та умов експлуатації. Індивідуальні методи прогнозування, які використовуються в даний час для визначення ресурсу агрегатів і вузлів, відрізняються великою різноманітністю, як за типом, так і за іншими ознаками: точністю, використовуваними математичними моделями і параметрами, за ступенем складності обчислень тощо.

Доцільність застосування існуючих індивідуальних методів прогнозування ресурсу силових агрегатів можна оцінити шляхом порівняння та аналізу переваг і недоліків підходів, які використовуються. Методи прогнозування, які застосовуються в дійсний час можна розділити на дві групи:

- методи прогнозування, засновані на екстраполяції тенденцій зміни агрегатів (назвемо такі методи прямими);

- методи прогнозування, де в якості вихідного пункту береться не тільки значення окремих параметрів, але й враховується вплив зовнішніх умов на систему в цілому (назвемо такі методи системними).

Найбільш поширені прямі методи прогнозування. До них відносяться різні модифікації методів, що виникли у зв'язку з особливостями експлуатації агрегатів. Крім того, для користування прямими методами потрібно незначна кількість даних про напрацювання та зміну технічного стану вузлів (агрегатів). Ці методи дають більш достовірні результати при малому часі попередження, коли не передбачаються суттєві зміни у зовнішніх умовах роботи вузла (агрегату).

За останній час методи прогнозування, засновані на екстраполяції, зазнали суттєвої критики. Чисто тимчасова екстраполяція, яку дає прямий метод, вельми сумнівна, через те, що математична модель відображає лише зовнішню формалізовану картину загального впливу всіх факторів на інтенсивність зношування об'єкта і не дає уявлення про характер взаємодії їх причин.

Для оцінки прямих методів прогнозування вирішальним є застосування теорії процесів і їх внутрішніх закономірностей. Безперервні зміни діагностичних параметрів об’єкта у функції напрацювання відображаються реалізаціями. Реалізації апроксимують відповідними рівняннями, що відображають зв’язок параметра з напрацюванням. Користуючись цими рівняннями, екстраполюють надійність об’єкта в часі або за показником пробігу.

Однак використовувати такі динамічні моделі для цілей прогнозування залишкового ресурсу деталей і сполучень вузлів (агрегатів) важко, через те, що треба брати до уваги цілий ряд коефіцієнтів, які змінюються при екстраполяції. Значення коефіцієнтів можуть бути визначені різними способами, наприклад, графічним, точковим, лінійного програмування, розбиття сукупності рівнянь ряду на групи тощо.

Дослідження показують, що всі перераховані методи при апроксимації досить великого числа кривих зношування дають приблизно однакову точність. Крім того, характер зміни показника, який визначає характер зміни швидкості зношування, є випадковим і залежить від реальних умов роботи, тому використовувати функціональну залежність для прогнозування не завжди вдається.

Розроблено також спосіб визначення ресурсу за середньо-статистичними закономірностями зміни параметра від напрацювання. Ці закономірності з деяким наближенням представлені у вигляді статистичної функції, але замість змінного в часі показника, який визначає характер зносу сполучення, в розрахунках приймаються постійні середні його значення, встановлені для даного параметра на основі статистичної обробки.

Набули поширення методи прогнозування за показниками моторного масла і за віброакустичними показниками. При прогнозуванні за названими показниками також використовується лінійний спосіб прогнозування залишкового ресурсу двигуна. Похибка

прогнозування на основі використання наведеної концентрації заліза в картерному маслі становить близько 20%, а на основі балансу надходження і витрати заліза - близько 13%.

При використанні лінійного методу прогнозування потрібно значно менше даних про напрацювання і зміну параметрів з моменту початку експлуатації об'єкта, ніж при всіх інших способах. Сутність цього способу полягає в тому, що закономірність зміни параметра розглядається за законом спадної швидкості зміни, у зв'язку з чим лінійна екстраполяція процесу на деякий проміжок часу дає величину залишкового ресурсу завжди дещо менше дійсної.

Такі методи прогнозування, як двохальтернативний, параболічного інтерполювання, екстраполяційний, градієнтний, метод Бокса-Вільсона, метод узагальненого параметра по суті є варіантами прямих методів прогнозування.

Системні методи дозволяють з відносно високим ступенем надійності розробити прогнози комплексних процесів, на які впливає практично нескінченне число факторів. З їх допомогою можливо розробити прогнози, що охоплюють внутрішній і зовнішній розподіл випадковостей. Ці методи призводять до передбачення векторів стану, які описують розподіл ймовірностей.

Істотний інтерес при системному підході до визначення ресурсу силових агрегатів представляють методи і моделі адаптаційного прогнозування. На жаль, поки ці методи розроблені з прогнозування техніко-економічних показників об'єктів технічного стану тільки радіоелектронних пристроїв.

Відмінність адаптивних моделей від інших прогностичних моделей полягає в тому, що вони відображають поточні властивості ряду і здатні безперервно враховувати еволюцію динамічних характеристик досліджуваних процесів, тобто відбувається подальше коригування параметрів моделі, їх адаптація до нових, безперервно мінливих зовнішніх умов роботи вузла, агрегату. Біля витоків адаптивного напрямку лежить найпростіша модель експоненціального згладжування. Модифікації та узагальнення цієї моделі привели до появи цілого сімейства адаптивних моделей з різними властивостями.

Недоліком системних методів є те, що ефективність прогнозування залежить від обраного мінімуму інформативних параметрів.

Список використаних джерел

1. Біліченко В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів : навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.

2. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник / О. А. Лудченко. – К. : Вища шк., 2007. – 527 с. : іл.

3. Поляков А.П. Формування потреби станцій технічного обслуговування автомобілів в запасних частинах для своєчасного обслуговування клієнтів / А.П. Поляков, О.П. Антонюк, Б.С. Маріянко // Вісник СНУ ім. Даля. – 2014. – №6(194). Частина 2 – с.62-63.

Поляков Андрій Павлович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: farv@vntu.edu.ua

Варчук Вячеслав Володимирович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

Polyakov Andriy Pavlovich **–** Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: farv@vntu.edu.ua

Varchuk Vyacheslav Volodymyrovych **–** Assistant Professor, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

УДК 629.113

А.П. Поляков, В.В. Варчук, Л.В. Мороз

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Проаналізовані існуючі методи визначення потреби в запасних частинах для автомобілів, які в основі своїй використовують: середні значення ресурсів вузлів і агрегатів; асимптотичні формули процесів відновлення; характеристики потоку відмов; імовірнісний критерій; економіко-математичний критерій; фактичну витрату запасних частин за минулий період експлуатації.

Ключові слова: автотранспортні засоби, запасні частини, вузли, прогнозування технічного стану, транспортні засоби, ресурс.

Existing methods for determining the need for spare parts for cars are analyzed, which basically use: average values of the resources of components and assemblies; asymptotic formulas for recovery processes; characteristics of the failure flow; probabilistic criterion; economic and mathematical criterion; actual consumption of spare parts over the past period of operation.

Keywords: *car service, units, components, technical condition prediction, vehicles, resource.*

Вихідним і головним моментом вирішення задачі по забезпеченню запасними частинами є планування потреби в них. У зв'язку з цим й розглянемо існуючі методи визначення потреби в запасних частинах, які можуть бути зведені в кілька груп, розрахункові залежності яких в основі своїй використовують: середні значення ресурсів вузлів і агрегатів; асимптотичні формули процесів відновлення; характеристики потоку відмов; імовірнісний критерій; економіко-математичний критерій; фактичну витрату запасних частин за минулий період експлуатації.

Найбільш широке застосування для визначення потреби в запасних частинах отримали методи, що використовують середні значення ресурсів деталей, вузлів, агрегатів транспортних засобів. В основу методу покладена формула:

$$N = \frac{(L_{сп} - R_н) \cdot 100 \cdot n}{R_{зч} \cdot T_{сп}}, \quad (1)$$

де N - норма витрат запасних частин, шт./100 автомобілів на рік; $L_{сп}$ - середній пробіг автомобіля до списання, тис. км.; $R_{зч}$ - середній ресурс деталі, вузла, агрегату до наступної заміни, км; $T_{сп}$ - середній термін служби автомобіля до списання, років; $R_н$ - середній ресурс деталі, вузла до першої заміни, тис. км; n - число деталей, вузлів, агрегатів даного найменування на автомобілі, од.

Недоліком такого підходу є неможливість оперативно враховувати зміну витрати запасних частин для парку автомобілів у зв'язку із зміною умов експлуатації, що визначають швидкість зношування деталей, вузлів, агрегатів, а також те, що в основу визначення потрібної кількості запасних частин покладений середній по країні ресурс деталей. При визначенні норм припущено, що число замін постійно в часі і не змінюється в міру збільшення терміну служби автотранспортного засобу. Але це не відповідає дійсності. Проведені дослідження показали, що фактична потреба автомобілів в запасних частинах змінюється в залежності від пробігу з початку експлуатації і від умов експлуатації.

В формулу (1) введено поправочні коефіцієнти, що характеризують конкретні умови і запропонована наступна залежність:

$$N_ф = N \cdot K_Г \cdot \frac{L_{сп} \cdot K_{ам} - R_{зн} \cdot K_р}{(L_{сп} - R_н) \cdot K_р \cdot K_{ам}}, \quad (2)$$

де $N_ф$ - фактична потреба в запасних частинах, шт. на 100 автомобілів на рік; $K_Г$ - поправочний коефіцієнт, що враховує річний пробіг; $K_{ам}$ - коефіцієнт, що враховує фактичний пробіг автомобіля за термін його експлуатації; $K_р$ - коефіцієнт, що враховує термін служби деталей у конкретних умовах.

Коефіцієнт $K_р$ визначається як

$$K_р = K_д \cdot K_{пр} \cdot K_{ед} \cdot K_р \cdot K_{кэ}, \quad (3)$$

де $K_д$, $K_{пр}$, $K_{вд}$, $K_р$, $K_{кэ}$ - поправочні коефіцієнти, які враховують, відповідно, дорожні умови, ступінь використання автомобілів в якості автомобілів-тягачів, співвідношення в структурі парку між новими і минулими капітальний ремонт автомобілями, збільшення довговічності автомобілів, підвищення культури експлуатації парку, природно-кліматичні умови.

Використання коефіцієнта *Кр* правомірно лише в разі рівності міжремонтного пробігу автомобіля і ресурсу його деталей, але напрацювання до відмов для більшої частини деталей набагато менше міжремонтного пробігу автомобілів. Крім того, прийняті спрощення знижують ефективність застосування даної методики для оперативного вирішення потреби в запасних частинах.

У ряді робіт для розрахунку потрібної кількості запасних частин використовується інтегральне рівняння для загального процесу відновлення:

$$H(t) = F(t) + \int H(t-\tau) \cdot q(\tau) d\tau \,, \tag{4}$$

де *H(t)* - функція загального процесу відновлення за період t; *F(t)* - функція розподілу ресурсу початкового елемента; *q(τ)* - щільність функції розподілу ресурсу запасного елемента.

Рішення даного рівняння утруднено через необхідність отримання апріорної інформації про експлуатаційної надійності деталей, вузлів. У зв'язку з цим ряд авторів пропонують використовувати спрощені моделі асимптотичних формул теорії відновлення.

Методи визначення потреби в запасних частинах, що використовують асимптотичні формули процесів відновлення, розроблені в основному для виробів радіоелектронної техніки. Вони базуються на стаціонарних потоках замін, розподілених за законом Пуассона або з використанням процесу відновлення при обмеженому числі замін деталей та часу роботи даної системи, що прагне до нескінченності. Це положення не повністю відображає старіння механічних систем, стосовно яким потік замін деталей та вузлів за термін служби в період експлуатації не встигає мобілізуватися, оскільки процес відновлення стає стаціонарним тільки після п'яти і більше замін. Це обмежує застосування методу до розрахунку ресурсного фонду в запасних частинах до автомобілів.

Використання параметрів потоку відмов для розрахунку потреб у запасних частинах дає задовільну оцінку, дозволяючи з деяким ступенем оперативності прогнозувати їх витрата для конкретного інтервалу пробігу. Певний інтерес в цьому плані становлять роботи, в яких нормування витрат запасних частин ув'язано з використанням розподілу числа відмов на певному пробігу по закону Пуассона:

$$P_m(L) = \sum^{m} \frac{(\lambda \cdot L)^n}{m!} \cdot e^{-\lambda L} \,, \tag{5}$$

де $P_m(L)$ - ймовірність появи т відмов (замін) деталей на пробігу L; λ - інтенсивність відмов, 1/км.

Застосовується модель потоку відмов з перемінним параметром.

При цьому доводиться, що кількість запасних частин (ЗЧ) залежить від групи машин, оскільки є можливість маневрування ЗЧ всередині цієї групи, тобто має місце об'єднаний резерв. І число відмов групи машин не перевершить загальної кількості ЗЧ з рівняння

$$P\{v(t) \le n\} = \sum_{s=0}^{n} \frac{[H(t)]^5}{s!} \cdot e^{-H(t)} \,, \tag{6}$$

де *v(t)* - число відмов деталі в групі АТЗ за напрацювання t; *n* - необхідна для групи АТЗ кількість ЗЧ; *H(t)* - середнє число відмов групи; *s* - число відмов деталі в інтервалі напрацювання.

Аналогічна розрахункова залежність раніше була запропонована Б.Гнєденко. У ній витрата пропонується визначати за виразом Муавра-Лапласа при відомих ймовірності відмови деталей і законі розподілу - нормального або експоненціального. Насправді ж цей розподіл витрати ЗЧ підпорядковується й іншим законам розподілу, наприклад, Вейбулла-Гнєденко, Пуассона.

Допущення того, що ймовірність Р відома, правомірно. Однак визначення цієї величини на практиці має певні труднощі.

У пропонованих методиках не враховуються умови експлуатації в явному вигляді.

В цілому розглянуті роботи представляють методологічний інтерес. Запропонований підхід в них використовується при дослідженні надійності автомобілів.

Інтерес представляє розроблена проф. Н.Я.Говорущенко і В.В.Барановим методика прогнозування потреби в ЗЧ, яка враховує умови експлуатації і технічне обслуговування

автомобілів. Заснована вона на тому, що в сталому експлуатаційному режимі розподіл потоку відмов описується експоненціальним законом. Запропонована залежність має наступний вигляд:

$$П_{зч} = N \cdot \lambda \cdot l \cdot K_j \cdot \sqrt{N_д \cdot \lambda \cdot l}\ , \qquad (7)$$

де K_j - гамма-відсотковий квантиль стандартного нормального розподілу; $N_д$ - кількість автомобілів; λ - інтенсивність відмов, 1/км; l - пробіг автомобіля, тис. км.

Цінність даної методики незаперечна. Але результати вирішення поставлених задач зважаючи на їх специфічного призначення і прив'язки до одиничного автомобілю не можуть бути використані при визначенні потреби в ЗЧ на рівні сервісних автопідприємств. Основна причина полягає в тому, що не береться до уваги вплив ряду важливих факторів умов експлуатації: навантажувального і швидкісного режимів роботи, інтенсивності використання автомобілів і ін.

Зроблена спроба врахувати в розрахунковій формулі потреби ЗЧ, крім параметрів, що характеризують технічний стан автомобілів, такі фактори, як дорожні та кліматичні умови експлуатації. При цьому очікувану середню витрату ЗЧ даного найменування пропонується визначати як

$$Z_{ср} = K_H \cdot K_v \cdot K_з \cdot \lambda_{\max} \cdot \sum l\ , \qquad (8)$$

де $К_н$, $К_v$, $К_з$ - коефіцієнти, що враховують, відповідно, дорожні умови, кліматичні умови (вплив пори року) і запас запасних частин; λ - інтенсивність відмов; l - середній пробіг всіх автомобілів, тис. км.

Одним з недоліків запропонованої методики є те, що значення коефіцієнта $К_н$ визначено тільки для ґрунтових і асфальтових доріг, тоді як типів дорожніх покриттів значно більше. Крім того, всі види асфальтних доріг відносять до одного типу. Насправді ж вони поділяються на декілька класів, в залежності від якості дорожніх покриттів. Таке допущення при визначенні величини коефіцієнта $К_н$ може призвести до грубих помилок. Адже інтенсивність відмов на дорогах з різними типами покриттів буде неоднакова, що в свою чергу впливає на точність результатів розрахунку потреби в запасних частинах.

У запропонованій методиці враховуються в певній мірі лише фактори, що характеризують стан автомобілів. А між тим на величину витрат запасних частин впливають і такі важливі фактори, як абразивність середовища, навантажувально-швидкісний режим, інтенсивність експлуатації автомобілів і ряд інших.

Таким чином, як показав аналіз, методи визначення потреби в запасних частинах на основі використання параметрів потоку відмов, що базуються на інформації, яка враховує реальні умови експлуатації, багато в чому об’єктивно відображають процес їх витрати. Разом з тим, такого роду методи вимагають тривалих випробувань, порівнянних за часом з величиною амортизаційного терміну служби автомобіля, що не дає можливості застосовувати їх на етапах проектування та введення в експлуатацію нової моделі автомобіля, а також ускладнює і застосування їх в процесі експлуатації.

На сьогоднішній день відомо чимало робіт, в яких основні розрахункові формули засновані на використанні положень теорії масового обслуговування, тобто за критерій застосовності приймається теоретико-імовірнісний підхід до визначення потреби в ЗЧ, що в основному, і визначає привабливість таких методів для формалізації процесу витрати ЗЧ. Так, наприклад, очікуване число замін, тобто потрібну кількість ЗЧ пропонується визначати за формулою

$$\Delta = N' \cdot \pi \cdot \sum_{x=1}^{h} P_x \cdot h\ , \qquad (9)$$

де N'- кількість автомобілів; π - пробіг, тис. км; P_x - емпірична величина ймовірності появи відмови в x-м інтервалі пробігу; h - число інтервалів пробігу.

Тут слід зауважити, що запропонований метод визначення запасу ЗЧ для автомобілів, застосований для випадку, коли процес виникнення потреби в запасних частинах виходить від об’єкта з послідовною структурою надійності і зі взаємно незалежними частинами, що мають експонентний закон розподілу часу безвідмовної роботи. Кожне відхилення зазначених вище пропозицій, які відносяться до автомобілів, що забезпечуються ЗЧ через склади, може привести до значного утруднення розрахунків.

Проф. Є.С.Кузнецов, розглядаючи застосування розрахунків кількості запасних частин, проведених тільки на основі ймовірностей без урахування економічних наслідків, вказує, що

отримана в результаті розрахунку середня кількість запасних частин значно нижче оптимального запасу. Хоча це і забезпечує прибуток, але менший, ніж при оптимальній стратегії, тобто з урахуванням економічного критерію.

Імовірнісні методи розрахунку, також не враховують економічний критерій. Тут імовірна кількість відмов П(х), замін, або ЗЧ визначається через підсумовування ймовірностей відмов F(x).

Загалом вигляді це представляє наступне:

$$\Omega(\mathrm{x}) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \Phi\left(\frac{x - k \cdot \eta \cdot \overline{x}_t}{\sigma \cdot k}\right), \qquad (10)$$

$$z = \frac{x - k \cdot \eta \cdot \overline{x}_t}{\sigma \cdot \sqrt{k}},$$

де *Ф(х)* - нормована функція; *х* - пробіг автомобіля, тис. км; $\overline{x}_t$ - середнє напрацювання до першої відмови, тис. км; *k* - число відмов (замін); *η* - коефіцієнт відновлення ресурсу; *σ* - середнє квадратичне відхилення, тис. км.

Таким чином, використовуючи в деякій мірі значення параметра потоку відмов, можна визначати конкретну витрату деталей за будь-який заданий період і планувати роботу системи постачання. Однак, імовірнісні методи, в даний час знаходять незначне застосування з огляду на те, що для їх здійснення необхідна велика попередня робота з вивчення відмов і несправностей автомобілів, що виникають через зношування або поломки кожної з численних деталей даного автомобіля.

Пропонуються також розрахункові залежності для визначення необхідної кількості ЗЧ для авторемонтних заводів. Отримані рівняння, засновані на теорії додавання і множення ймовірностей, враховують кількість відновлень деталей, але явно не пов'язані з пробігом вузлів і агрегатів автомобіля і, отже, з формулами, заснованими на композиції законів розподілу.

На закінчення слід зауважити, що в більшості випадків результати розрахунку малодостовірні через наявність обмежень, необхідних для ведення розрахунку. Це в основному і не сприяє широкому застосуванню імовірнісних методів розрахунку потреби в запасних частинах.

Часто для прогнозування потреби в запасних частинах використовуються методи економіко-математичного моделювання на основі застосування кореляційно-регресійного аналізу. Наприклад, на основі методів множинної кореляції встановлена залежність між витратою ЗЧ в грошових одиницях на один автомобіль і факторами, що впливають на їх величину - пробіг з початку експлуатації та кількості автомобілів в парку, які перебувають на різних циклах експлуатації (до капітального ремонту і після нього). Досліджується також витрата запасних частин в залежності від трудомісткості технічного обслуговування.

В деяких випадках витрата ЗЧ в різних дорожньо-кліматичних умовах досліджується через витрату палива, тобто виходячи з припущення, що між витратою палива і витратою ЗЧ існує залежність. Тут також враховується пробіг автомобіля з початку експлуатації, рівень організації ТО і ремонту на АТП, середня періодичність ТО, кваліфікація водіїв тощо.

Спільним недоліком зазначених робіт є й те, що всі вони не враховували таких характеристик умов експлуатації, як навантажувально-швидкісний режим, інтенсивність використання автомобілів, вплив зовнішнього середовища та інше. Однак методи економіко-математичного моделювання, засновані на використанні кореляційно - регресійного аналізу, в деяких випадках дають непогані результати.

В даний час поряд з нормативними методами прогнозування на основі середньостатистичних даних про ресурс деталей, розглянутих вище, широке застосування мають методи, розрахункові залежності яких засновані на використанні даних про фактичну витрату ЗЧ за попередні періоди експлуатації та коригування цих даних з урахуванням запасів, що перебувають на складі, а також з урахуванням надходження і списання автомобілів.

Наприклад, норма витрати ЗЧ за даними про фактичну кількість замін, виявлену при проведенні спостережень, визначається за формулою:

$$N = 100 \cdot \left(\overline{P} + t_\beta \cdot \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{\Pi^\theta}}\right), \qquad (11)$$

де $П^{\theta}$ - загальна кількість автомобілів, що обслуговуються; $\bar{P} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n^0} P_j$ - середня кількість замін елементів на одному автомобілі, виявлена при експлуатації та ремонті; t_β - квантиль розподілу Стьюдента для односторонньої довірчої ймовірності; P_j - кількість замін елементів на j-ому автомобілі; $\sqrt{D}$ − незміщена оцінка середнього квадратичного відхилення.

Е.П. Кухарєв норму витрати ЗЧ за фактичною витратою деталей і вузлів рекомендує визначати за формулою:

$$N_a = \frac{(\mathrm{M}_э + \mathrm{M}_к) \cdot 100 \cdot \mathrm{L}_Г}{\mathrm{L}_0}, \tag{12}$$

де N_a - норма витрати ЗЧ в АТП на 100 автомобілів на рік; M_e - витрата деталей на експлуатаційні та капітальні ремонти в умовах АТП; L_o - сумарний пробіг автомобілів, км; $M_к$ - витрата запасних частин при капітальному ремонті.

$$\bar{M}_к = \eta \cdot k \cdot n, \tag{13}$$

де η - коефіцієнт змінності деталей при капітальному ремонті; k - кількість капітальних ремонтів, виконуваних на авторемонтних заводах; n - кількість однойменних деталей; $L_р$ - річний пробіг, тис. км.

В основу цих методів покладено апріорні оцінки зі спостереження за витратою ЗЧ протягом деякого періоду експлуатації (зазвичай кілька років) і коригування цих витрат на майбутні періоди з урахуванням мінливих умов роботи підприємства і запасів, що знаходяться на складі. Як бачимо, такий підхід не враховує різні чинники, що впливають на зміну витрати запасних частин: динаміку зміни умов експлуатації, технічного стану автомобілів, сезонності робіт, інтенсивності використання тощо.

Як показала практика, на жаль, статистику витрати запасних частин за весь період амортизації автомобіля далеко не завжди вдається отримати і зберегти і, крім того, не завжди витрати минулих періодів дорівнюють майбутнім.

На сьогоднішній день, на наш погляд, перспективним напрямком є розробка методів розрахунку потреби запасних частин, в основу розрахункових залежностей яких покладена закономірність зміни технічного стану автомобіля та його елементів в процесі експлуатації.

Деякі науковці пропонують визначати потребу в запасних частинах, заміна яких обумовлюється їх зносом, за даними про інтенсивність зношування за рівнянням:

$$m(L) = \frac{L \cdot P_c(k)}{\delta \cdot P_1(k)} \cdot \left\{ 1 + x_\alpha \sqrt{\frac{P_2(k)}{P_1(k)} - \frac{P_1(k)}{P_2(k)}} \right\}, \tag{14}$$

де $m(L)$ - потреба в запасних частинах на пробіг L; δ - знос деталей до граничного стану; k - інтенсивність зношування; x_a - квантиль нормального розподілу; $P_1(k)$, $P_2(k)$, $P_c(k)$ - інтегральні функції інтенсивного зношування.

Має місце математична модель прогнозування потреби в запасних частинах для зубчастих коліс на основі фізичної закономірності їх відмов та облік фізично-інформативних характеристик, що показують вплив на витрату запасних частин конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів.

$$N = L_{кр} q \gamma \sum_{i=1}^{a} \beta_i \cdot \sum_{k=1}^{m} \alpha_{ki} / \bar{L}_{ki} - 1, \tag{15}$$

де q - коефіцієнт використання вантажопідйомності; γ - коефіцієнт використання пробігу; β_i - пайовий коефіцієнт пробігу в і-их умовах, $\sum_{i=1}^{a} \beta_i = 1$, де a - число варіантів дорожніх умов; a_{ki} - пайовий коефіцієнт пробігу на $к$-ой передачі в і-их умовах, $\sum_{k=1}^{m} \alpha_{ki} = 1$, де m - число передачі; $\bar{L}_{ki}$ - середній ресурс зубчастого колеса к-ої передачі в i-их умовах експлуатації, км; $L_{кр}$ - нормативний пробіг автомобіля до капітального ремонту, км.

Як недолік цього методу слід відзначити, що викликає труднощі у визначенні коефіцієнта пробігу на к-ой передачі в і-их умовах експлуатації. Позитивною і дуже важливою стороною такого роду розрахункових методів є те, що вони дозволяють отримати більш достовірну оцінку при прогнозуванні, особливо по деталях, які виходять з ладу від поступових відмов, тобто по причині зносу.

На закінчення слід зазначити, що вказані методи мають недолік, загальний для всіх розглянутих вище методів прогнозування - всі вони, як правило, засновані на накопиченні та екстраполяції статистичних даних про ресурс або витраті ЗЧ, або ж про знос в даних умовах експлуатації автомобіля конкретної моделі, деталі якого виготовлені за певною технологією. Якщо ж змінюються умови експлуатації або конструкція, чи технологія виготовлення, то в цілях визначення потреби в ЗЧ необхідні нові значні обсяги досліджень, які тягнуть за собою фінансові та трудові витрати.

Список використаних джерел

1. Біліченко В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів : навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.

2. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник / О. А. Лудченко. – К. : Вища шк., 2007. – 527 с.

3. Поляков А. П., Антонюк О. П. Стратегія управління запасами запасних частин, що застосовуються для ремонту рухомого складу автотранспортного підприємства. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: ІІІ міжн. наук.- практ. інтернет-конф., 14-16 квітня 2015р., м. Вінниця, 2015. С. 115 - 117. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/ 123456789/ 12432 (дата звернення: 02.09.2020).

Поляков Андрій Павлович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: farv@vntu.edu.ua

Варчук Вячеслав Володимирович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

Мороз Лариса Василівна **–** ст. викладач, кафедра військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morozlarisa764@gmail.com

Polyakov Andriy Pavlovich **–** Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: farv@vntu.edu.ua

Varchuk Vyacheslav Volodymyrovych **–** Assistant Professor, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

Moroz Larysa Vasylivna **–** senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: morozlarisa764@gmail.com

УДК 656.07:005.591.6

В.І. Порфіренко, А.І. Козаченко

КОМУНІКАЦІЙНИЙ ЛОГІСТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПОСТАВОК В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

Проаналізовано трансформацію логістичної системи України протягом 2010–2025 років в умовах глибоких внутрішніх і зовнішніх викликів. Розглянуто перехід від централізованих моделей управління до цифровізованих, децентралізованих рішень, здатних функціонувати в умовах кризи. Особливу увагу приділено впливу геополітичних змін, пандемії COVID-19, повномасштабної війни, а також впровадженню інноваційних та екологічних підходів. Визначено основні бар'єри для подальшого розвитку галузі та окреслено стратегічні пріоритети для її модернізації. Дослідження має практичну цінність у контексті післявоєнного відновлення та євроінтеграції України.

Ключові слова: *логістика, система поставок, інновації в логістиці, цифровізація, транспортна інфраструктура, автоматизація складів, Україна*

The article analyzes the transformation of Ukraine's logistics system during the period from 2010 to 2025 under the pressure of profound internal and external challenges. It examines the shift from centralized management models to digitalized and decentralized solutions capable of operating effectively in crisis conditions. Particular attention is paid to the impact of geopolitical changes, the COVID-19 pandemic, the full-scale war, as well as the implementation of innovative and environmentally sustainable approaches. The study identifies the main barriers to the further development of the sector and outlines strategic priorities for its modernization. The findings have practical value in the context of Ukraine's post-war recovery and European integration.

Keywords: *logistics, supply chain system, logistics innovation, digitalization, transport infrastructure, warehouse automation, Ukraine.*

Протягом 2010–2025 років логістична система України зазнала глибоких змін, що були зумовлені як внутрішніми трансформаціями, так і впливом глобальних викликів. За цей час логістика поступово переходила від традиційних централізованих моделей управління до високотехнологічних, децентралізованих і цифровізованих рішень, які здатні функціонувати в умовах високої невизначеності. [1]

На початку зазначеного періоду логістика в Україні мала переважно інерційну структуру. В основі поставок переважали великі логістичні центри з обмеженим рівнем автоматизації. Ключовою особливістю була концентрація інфраструктури у центральній частині країни, зокрема в Київському регіоні. Відсутність комплексного підходу до управління ланцюгами постачання, обмежене застосування IT-рішень, а також слабка інтеграція з міжнародними логістичними мережами стримували розвиток конкурентоспроможної логістики.[1]

Ситуація почала змінюватися з 2014 року, коли через геополітичні потрясіння — анексію Криму та збройний конфлікт на сході — Україна втратила частину логістичних активів, зокрема порти на півдні та транспортну інфраструктуру на Донбасі. Це призвело до масштабного перегляду логістичних маршрутів. Нові напрямки було спрямовано через західні регіони країни, активізувалося будівництво та реконструкція прикордонної інфраструктури. Регіони, які раніше не відігравали ключової ролі в логістиці, поступово перетворилися на логістичні хаби, зокрема Львівська, Волинська та Закарпатська області.[2]

Одним із визначальних чинників, що вплинув на зміну парадигми логістичного розвитку, стала пандемія COVID-19. Вона спричинила глобальну кризу ланцюгів постачання, що проявилася у перебоях у доставці товарів, дефіциті транспортних ресурсів, коливанні попиту та зміні споживчої поведінки. Відповіддю на ці виклики стало широке впровадження цифрових інструментів, таких як системи управління складами (WMS), транспортуванням (TMS), прогнозуванням попиту (AI-based demand forecasting), а також розвиток служб експрес-доставки та кур'єрських сервісів.[2]

Особливу увагу було приділено розвитку електронної комерції, яка стрімко зростала, змінюючи вимоги до логістичної інфраструктури. Почали з'являтися мікро-фулфілмент-центри,

автоматизовані поштомати, а також нові формати взаємодії з клієнтами — від повної цифровізації до використання мобільних застосунків і хмарних платформ. [3]

У 2022 році логістична система України зазнала безпрецедентних змін унаслідок повномасштабного військового вторгнення Російської Федерації. Війна спричинила масштабні руйнування інфраструктурних об'єктів, що мають критичне значення для логістики. Були пошкоджені або знищені ключові залізничні вузли, мости, магістральні шляхи, логістичні комплекси, склади та портові об'єкти, зокрема в південних і східних регіонах. Особливо серйозно постраждали морські порти Чорного та Азовського морів, які до війни забезпечували значну частину експортно-імпортних операцій. В умовах гострої необхідності збереження ланцюгів постачання, український уряд у співпраці з приватним сектором розпочав пошук альтернативних рішень. Було мобілізовано потенціал портів на Дунаї (Ізмаїл, Рені), які стали важливими точками перевалки товарів, організовано роботу тимчасових логістичних хабів поблизу західного кордону, а також розширено транспортні коридори у напрямку країн Європейського Союзу. У цьому контексті активізувалося автомобільне й залізничне сполучення з Польщею, Румунією, Словаччиною, що дозволило частково компенсувати втрати морської логістики та підтримати критичні ланцюги постачання. [3]

У цей складний період в Україні сформувалась концепція адаптивної логістики — підходу, що орієнтується на гнучкість, стійкість і швидку реакцію на зовнішні виклики. Ця модель передбачає здатність логістичної системи оперативно змінювати маршрути, способи транспортування та канали постачання залежно від змін у безпековому середовищі. Зросло значення мультимодальних перевезень, які поєднують декілька видів транспорту — залізничний, автомобільний, річковий — для досягнення максимальної ефективності та надійності доставки. Особливу актуальність набула мобільна логістична інфраструктура, яка дозволяє розгортати тимчасові склади, логістичні хаби та пункти сортування у безпечніших регіонах країни або поблизу кордонів із країнами-партнерами. [4]

Крім того, логістика почала відігравати ключову роль у забезпеченні національної безпеки. Її функції вийшли далеко за межі комерційної діяльності — вона стала невіддільною складовою гуманітарної допомоги, військової логістики, оперативного переміщення критично важливих вантажів і підтримки функціонування об'єктів життєзабезпечення. З'явилася потреба в інтеграції логістичних операцій із державними структурами, міжнародними організаціями та приватними операторами. Такий симбіоз дозволив не лише підтримати стійкість постачання в умовах війни, а й закласти основи для майбутнього відновлення та модернізації логістичної системи України на принципах цифровізації, екологічності та стратегічного партнерства. [4]

Паралельно з кризовими заходами в країні продовжували впроваджуватися інноваційні підходи. Зокрема, поширюється використання технологій блокчейн для відстеження товарів, штучного інтелекту — для оптимізації логістичних операцій, роботизованих систем на складах. Розвиток IoT-рішень дозволив забезпечити моніторинг у режимі реального часу, що є надзвичайно важливим в умовах обмеженого доступу до інфраструктури.[5]



Рисунок 1. Автономні транспортні засоби, що взаємодіють із трафіковими системами на базі Інтернету речей (IoT)

Figure 1. Autonomous vehicles interacting with Internet of Things (IoT)-based traffic systems

Поряд із цифровими трансформаціями в Україні активно впроваджуються підходи, орієнтовані на «зелену» логістику. До ключових напрямів належить поступовий перехід на електротранспорт, який дозволяє скоротити викиди парникових газів та знизити залежність від викопного палива. Важливу роль відіграє впровадження багаторазової, біорозкладної та екологічно сертифікованої упаковки, що зменшує негативний вплив на довкілля на всіх етапах ланцюга постачання. У логістичних центрах впроваджуються енергоефективні технології — інтелектуальні системи освітлення, автоматичне регулювання клімату, використання сонячних панелей. Також активно розвиваються моделі сталого транспортування: комбіновані вантажоперевезення, використання вантажівок на водневому паливі, а також інвестиції в залізничні перевезення як більш екологічно чисту альтернативу автотранспорту. Ці ініціативи відповідають стратегічному курсу України на імплементацію принципів Європейського зеленого курсу (European Green Deal) та інтеграцію в екологічну політику ЄС, що вимагає поступової декарбонізації транспорту й логістики. [6]

Попри відчутні досягнення у сфері модернізації логістичних процесів, все ще існує низка системних проблем, що уповільнюють розвиток галузі. Однією з головних є обмежена взаємодія між наявними цифровими платформами, які часто працюють у закритих середовищах і не підтримують обмін даними в режимі реального часу. Це створює перешкоди для формування єдиного національного логістичного простору, ускладнює управління ланцюгами постачання та знижує ефективність роботи учасників ринку. Додатково загострюється проблема кадрового забезпечення — зростає попит на фахівців з цифровими компетенціями, зокрема в напрямах аналітики, програмування логістичних систем, кіберзахисту, штучного інтелекту та IoT-рішень. Оскільки сучасні логістичні рішення активно інтегруються з критичною інфраструктурою, особливої актуальності набуває питання інформаційної безпеки та захисту від кібератак, що є особливо важливим у реаліях гібридної війни.[7]

Ще одним стримувальним чинником для впровадження інновацій у логістиці є їх висока собівартість, особливо у сегменті малого та середнього підприємництва. Доступ до новітніх технологій часто обмежується через фінансові бар'єри, брак довгострокового кредитування та складність у залученні інвестицій. У цих умовах критично важливою є активна участь держави в стимулюванні цифрової трансформації логістичної інфраструктури. Зокрема, йдеться про запровадження гнучкої системи податкових пільг для компаній, що впроваджують сучасні рішення, створення механізмів співфінансування інновацій, надання цільових грантів, а також удосконалення умов доступу до фінансових ресурсів через державні й міжнародні програми підтримки. Інституційна підтримка має бути комплексною — включати не лише економічні стимули, а й освітні програми, технічну допомогу та сприяння інтеграції української логістики у європейський транспортно-логістичний простір.[8]

Висновок

За результатами аналізу логістичної системи України у 2010–2025 роках можна стверджувати, що відбувся глибокий перехід від класичної централізованої моделі до сучасної, гнучкої, цифрової та кризостійкої структури. Ця трансформація була зумовлена поєднанням глобальних викликів, внутрішніх криз і необхідності адаптації до нових реалій.

Розвиток української логістики супроводжувався впровадженням новітніх технологій, підвищенням прозорості логістичних процесів, децентралізацією інфраструктури, розширенням мультимодальних перевезень, а також поступовим переходом до екологічно безпечних рішень. Ключову роль у цьому процесі відігравала цифровізація, яка охопила всі етапи ланцюгів постачання — від управління складом до доставки кінцевому споживачу.

Разом із цим логістична система стикається з рядом обмежень, які потребують системного вирішення. Серед основних проблем — нестача спеціалістів нового покоління, недостатній рівень технічного захисту інформації, висока капіталомісткість цифрових рішень та складнощі у взаємодії між платформами. Крім того, зберігається потреба у нормативному оновленні та координації державної політики у сфері логістики.

У довгостроковій перспективі пріоритетами мають стати: розробка національної логістичної стратегії, регіоналізація інфраструктури, інституційна підтримка малого бізнесу, впровадження стандартів ЄС, розвиток людського капіталу та забезпечення стійкості системи до криз.

У підсумку, логістика в Україні трансформується з традиційної функції транспортування у комплексну, стратегічно важливу систему, здатну забезпечувати не лише економічну ефективність, але й стійкість у надзвичайних умовах. Цей досвід може стати основою для побудови нової моделі логістики у післявоєнному відновленні та інтеграції України до європейського простору.

Список використаних джерел

1. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. — [Електронний ресурс]. — https://mtu.gov.ua/files/TransportStrategy2030.pdf .

2. Центр транспортних стратегій (CFTS). Як змінилися логістичні маршрути України після 2014 року. — [Електронний ресурс]. — https://cfts.org.ua/articles/yak_zminylasya_logistika_ukrainy_pislya_2014_roku .

3. ЛІГА.Бізнес. Як електронна комерція змінює логістику в Україні: тенденції 2020–2023 років. — [Електронний ресурс]. — https://biz.ligazakon.net/news/207088_ukrposhta-nova-poshta-ta-e-commerce-logstika-v-ukran-zmnitsya .

4. Center for Transport Strategies (ЦТС).Мультимодальні перевезення: новий виклик і шанс для логістики України. — [Електронний ресурс]. — https://cfts.org.ua/articles/multimodalni_perevezennya_u_vymirakh_viyny .

5. ITC.ua. Розвиток IoT в Україні: рішення для транспорту та логістики. — [Електронний ресурс]. — https://itc.ua/articles/iot-v-ukrayini-ta-yoho-zastosuvannya-u-logistytsi/ .

6. Нікіфорова І. Ю., Бутко М. П. Логістика: підручник. — Харків: Видавництво "Факт", 2021. — 384 с.

7. Слободяник Ю. О., Дяченко І. А. Економіка та управління в логістиці. — Київ: Центр учбової літератури, 2019. — 320 с.

8. Мінекономіки України. Офіційний сайт: https://www.me.gov.ua (Сторінки щодо програм підтримки МСБ та логістичних ініціатив).

Порфіренко Володимир Іванович – доцент кафедри менеджменту, кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: porfirenko@gmail.com

Козаченко Анастасія Іванівна – бакалавр за спеціальністю "Маркетинг послуг", студентка другого курсу магістратури, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: a83421968@gmail.com

Porfirenko Volodymyr Ivanovych – Associate Professor of the Department of Management, Candidate of Economic Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: porfirenko@gmail.com

Kozachenko Anastasia Ivanivna – Bachelor's degree in Service Marketing, second-year Master's studenKt, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: a83421968@gmail.com

УДК 656.07:005.591.6

В.І. Порфіренко, А.С. Кумпан

РОЛЬ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Вантажні перевезення є ключовим елементом економіки України. В умовах сучасних геополітичних та економічних викликів, зокрема повномасштабного вторгнення, галузь вантажних перевезень зазнає важливих змін. Логістика відіграє ключову роль у системі міжнародних вантажних перевезень. Це не просто доставка вантажу з точки А в точку В, а комплексна система управління, яка забезпечує рух товару від виробника до кінцевого споживача через кордони. Ефективна логістика допомагає бізнесу оптимізувати витрати, зменшити час доставки та мінімізувати ризики, пов'язані з міжнародною торгівлею.

Ключові слова: *вантажні перевезення , логістика, інтеграції в міжнародні транспортні системи, складська логістика, міжнародні перевезення*

Freight transportation is a key element of Ukraine's economy. In the face of current geopolitical and economic challenges, including a full-scale invasion, the freight transportation industry is undergoing important changes. Logistics plays a key role in the international freight transportation system. It is not just the delivery of cargo from point A to point B, but a comprehensive management system that ensures the movement of goods from the manufacturer to the end consumer across borders. Efficient logistics helps businesses optimize costs, reduce delivery times, and minimize the risks associated with international trade.

Keywords: *freight transportation, logistics, integration into international transport systems, warehouse logistics, international transportation*

Роль логістики проявляється в координації багатьох взаємопов'язаних процесів. Вона охоплює всі етапи перевезення, включаючи планування, виконання та контроль. Транспортні підприємства та логістика тісно взаємопов’язані, оскільки, транспорт є ключовим інструментом логістики, а логістика забезпечує ефективність і оптимізація роботи транспорту.

У складі транспортних підприємств, що займаються логістикою, зазвичай існують кілька ключових підрозділів, які відповідають за різні етапи перевезення та супутні процеси. Їхня структура може варіюватися залежно від розміру компанії та спектра послуг.

Основні логістичні підрозділи [4]:

1) Відділ транспортування- ядро компанії. Його основне завдання – організація та управління перевезеннями вантажів. Сюди входить: - планування маршрутів(визначення оптимальних шляхів доставки вантажів х урахуванням відстані, часу та вартості);

- Управління автопарком (контроль за технічним станом транспортних засобів, планування їх обслуговування та ремонту);
- Диспетчерська служба (координація роботи водіїв та відстеження місцезнаходження вантажів у режимі реального часу)

2) Відділ зовнішньоекономічної діяльності / Митний відділ – підрозділ спеціалізується на міжнародних перевезеннях і виконує такі функції : митне оформлення, юридична підтримка.

3) Відділ продажу та обслуговування клієнтів_ залучення нових клієнтів, укладання договорів та надання інформаційної підтримки. Це важлива ланка, яка забезпечує взаємодію між компанією та клієнтами.

4) Відділ складської логістики – відповідає за всі операції, пов’язані зі зберіганням та обробкою вантажів. Цей підрозділ може включати управління складом, облік і контроль та ін.

Складська логістика є ключовим елементом загального ланцюга постачань, який відповідає за ефективне управління всіма процесами на складі [4].

Міжнародна складська логістика – це вид логістики, що керує комплексом взаємопов’язаних операцій, які забезпечують рух матеріальних і супутніх потоків в процесі приймання, розміщення, зберігання, обліку товарів і організації продажу споживачам при мінімальних витратах на організацію складського господарства, розрахунок оптимальної кількості складів та місця їх розташування [4].

Основними завданнями складського господарства підприємства є [3]:

– безперебійне забезпечення виробництва необхідними матеріальними ресурсами;

– забезпечення збереження матеріальних ресурсів;

– скорочення витрат при здійсненні складських операцій;

– підвищення продуктивності праці складського персоналу.

До основних причин використання складів в логістичній системі відносять такі [3]:

- забезпечення безперебійного процесу виробництва за рахунок створення запасів матеріально-технічних ресурсів;

- координацію та вирівнювання попиту та пропозиції у постачанні та розподілі матеріально-технічних ресурсів за рахунок створення сезонних запасів;

- забезпечення максимального задоволення споживчого попиту матеріально-технічні ресурси за рахунок формування асортимента продукції;

- зменшення логістичних витрат під час транспортування з допомогою організації перевезень матеріально-технічних ресурсів економічними партіями;

- створення умов підтримки активної стратегії збуту;

- збільшення географічного охоплення ринків збуту;

- забезпечення гнучкої політики обслуговування та ін.

Логістична система (ЛС) — це адаптивна система зі зворотним зв'язком, яка виконує ті чи інші логістичні функції (операції), складається із підсистем і має розвинуті внутрішньосистемні зв'язки та зв'язки із зовнішнім середовищем [5].

Метою логістичної системи є забезпечення наявності необхідного товару в необхідній кількості та заданої якості в потрібному місці й у потрібний час для потрібного споживача із заданими витратами.

Логістична система робить вантажні перевезення керованим, ефективним та економічно вигідним процесом. Насамперед, логістична система дозволяє оптимізувати маршрути та вибір транспортних засобів. За допомогою сучасних аналітичних інструментів вона визначає найкоротші шляхи, враховуючи при цьому дорожні умови, обмеження та витрати на паливо.

Вплив логістичної системи також проявляється у підвищенні надійності та контролю за вантажними перевезеннями. Використання систем відстеження дозволяє моніторити рух вантажу в реальному часі, що забезпечує прозорість процесу як для відправника, так і для одержувача. [5].

Вантажоперевезення – це процес транспортування різноманітних вантажів, таких як товари, сировина, обладнання або готова продукція, з одного місця в інше. Цей процес може включати використання різних видів транспорту, зокрема:

- автомобільного;
- залізничного;
- морського;
- авіаційного [1].

Вантажні перевезення є ключовим стимулом для розвитку логістичної галузі. Логістичні компанії активно впроваджують інноваційні технології та стратегії управління ланцюгом постачання, щоб забезпечити ефективність та точність вантажних операцій. Це стимулює створення нових робочих місць, підвищення кваліфікації працівників та підтримує стабільність логістичного сектору в країні [2].

Однією з ключових складових ефективних вантажних перевезень є розвинена та сучасна транспортна інфраструктура. Вона включає дороги, мости, залізниці, порти, аеропорти, а також допоміжні об'єкти, такі як термінали та логістичні центри, які забезпечують перевезення пасажирів і вантажів як на внутрішньому, так і на міжнародному рівнях. Україна, яка розташована на перехресті транспортних маршрутів, має значний потенціал для розвитку різноманітних видів перевезень. До 24 лютого 2022 року український ринок вантажних перевезень активно розвивався орієнтуючись на міжнародні коридори, зокрема з країнами ЄС, та активно використовуючи портову інфраструктуру. Основні напрямки перевезень були зосереджені на експорті агропродукції та імпорті промислових товарів.

З початком повномасштабного вторгнення логістична система України зазнала кардинальних змін. Традиційні маршрути та логістичні ланцюги були зруйновані, що змусило бізнес та державу швидко адаптуватися до нових умов. Основні виклики пов’зані з руйнуванням

інфраструктури, зміною логістичних маршрутів та зростанням ризиків. Найбільш відчутним ударом для логістики стало руйнування транспортної інфраструктури: мостів, залізничних колій, складських приміщень і навіть цілих логістичних хабів. Наприклад, український логістичний ринок втратив приблизно 400 тис. м^2 складських площ знищено лише під Києвом. Блокування морських портів призвело до переорієнтації більшості вантажопотоків на автомобільний та залізничний транспорт. Це спричинило зростання навантаження на західні прикордонні переходи, що створило нові логістичні виклики [2].

Незважаючи на складні виклики війни, Україна має значні перспективи для розвитку логістики та перетворення на ключовий транспортний хаб Східної Європи. Це базується на вигідному географічному розташуванні між ЄС та Азією, а також на потребах післявоєнної відбудови. Також, ключовою передумовою для розвитку є масштабне відновлення та модернізація транспортної інфраструктури.

У період війни Україна значно поглибила свою інтеграцію з ЄС, зокрема завдяки «транспортному безвізу». Ця угода дозволила українським перевізникам працювати на європейських ринках без спеціальних дозволів, що сприяло зростанню обсягів вантажів перевезень до ЄС.

Отже, вплив логістичної системи на вантажні перевезення в Україні, особливо в умовах війни, виявився критичним. Замість простого переміщення товарів, логістика стала комплексною системою, яка адаптується до екстремальних умов, забезпечує безперебійність постачань та відкриває нові можливості для розвитку.

Список використаних джерел

1. Що таке вантажоперевезення: все про транспортні та автомобільні перевезення вантажів — [Електронний ресурс]. — URL: https://mir-pravoslaviya.org.ua/so-take-vantazoperevezenna-vse-pro-transportni-ta-avtomobil-ni-perevezenna-vantaziv/

2. Ковальчук, С. Я. та Цуркан, А. О., Особливості обліку та оподаткування операцій по міжнародних автотранспортних перевезеннях. Агросвіт, 2018. 31–36 с.

3. Роль складування у логістичній системі. Види та функції складів. [Електронний ресурс]. — URL: https://studfile.net/preview/16527520/page:41/

4. Безугла Л.С., Юрченко Н.І., Ільченко Т.В., Пальчик І.М., Воловик Д.В. «Логістика», 2021. 161-212 с.

5. Логістичні системи і ланцюги — [Електронний ресурс]. — URL: https://mk.nmu.org.ua/en/source/Logisticl3.pdf

Порфіренко Володимир Іванович – доцент кафедри менеджменту, кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: porfirenko@gmail.com

Кумпан Анна Сергіївна– студентка четвертого курсу за спеціальністю “Менеджмент зовнішньоекономічної діяльності”, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: anakumpan87@gmail.com

Porfirenko Volodymyr Ivanovych – Associate Professor of the Department of Management, Candidate of Economic Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: porfirenko@gmail.com

Kumpan Anna Sergiyevna – Fourth-year student majoring in “Foreign Economic Activity Management”, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: anakumpan87@gmail.com

УДК 338.47

В.І. Порфіренко, А.С. Луговцов

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РИНКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ

Ринок електромобілів в Україні перебуває на етапі активного зростання та трансформації, що відбувається під впливом глобальних інноваційних рішень у сфері акумуляторних технологій та зарядної інфраструктури. Його розвиток визначається високою залежністю від імпорту вживаних автомобілів, потребою у швидкому масштабуванні мережі зарядних станцій та впровадженні новітніх підходів, зокрема системи модульної заміни батарей. Подальший прогрес ринку можливий за умови інтеграції України у міжнародні технологічні ланцюги та активної державної підтримки інновацій.

Ключові слова: *електротранспорт, акумуляторні технології, зарядна інфраструктура, інновації, Україна*

The electric vehicle market in Ukraine is at a stage of active growth and transformation, which is taking place under the influence of global innovative solutions in the field of battery technologies and charging infrastructure. Its development is determined by high dependence on the import of used cars, the need for rapid scaling of the network of charging stations and the introduction of innovative approaches, in particular, a modular battery replacement system. Further progress of the market is possible provided that Ukraine is integrated into international technological chains and active state support for innovations.

Keywords: *electric transport, battery technologies, charging infrastructure, innovations, Ukraine*

У сучасних умовах глобальної екологічної кризи та енергетичних викликів ринок електромобілів стає одним із ключових напрямів розвитку транспортної галузі. Світові тенденції декарбонізації, посилення вимог до скорочення викидів парникових газів та пошук альтернативних джерел енергії зумовлюють активний перехід від традиційних автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) до електротранспорту.

В Україні ринок електромобілів почав формуватися у 2010-х роках і демонструє стабільну позитивну динаміку, попри економічні та інфраструктурні обмеження. Основними чинниками, що стимулюють поширення електромобілів, є зростання цін на паливо, державні пільги на ввезення електротранспорту, прагнення до енергетичної незалежності та інтеграція у європейський транспортний простір. Водночас важливим драйвером є екологічний фактор — необхідність скорочення рівня забруднення повітря у великих містах.

Таким чином, дослідження перспектив розвитку ринку електромобілів в Україні є актуальним завданням, яке дозволяє визначити ключові можливості та бар'єри переходу на більш екологічний та енергоефективний вид транспорту.

Наразі існують шість основних типів електромобілів [1,2,3]:

- гібридні (HEV): Використовують двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) і електромотор. ДВЗ заряджає батарею, що дозволяє зменшити витрати палива порівняно зі звичайними авто;
- гібридні, що підключаються (PHEV): Подібні до HEV, але їхню батарею можна заряджати від зовнішньої електромережі. Це збільшує запас ходу на електриці;
- повністю електричні (BEV): Рухаються виключно на електриці від акумуляторної батареї. Не мають ДВЗ. Запас ходу залежить від ємності батареї та умов експлуатації;
- електромобілі зі збільшеним запасом ходу (REEV): Електромотор є основним, а невеликий ДВЗ використовується лише як генератор для зарядки батареї, коли її заряд низький;
- водневі (FCEV): Працюють на електромоторі, але енергію отримують від паливних елементів, які перетворюють водень на електрику;
- з суперконденсаторами (SCEV): Використовують суперконденсатори для швидкого накопичення енергії. Вони заряджаються за лічені секунди і мають мільйони циклів зарядки, але їх запас ходу дуже обмежений (кілька кілометрів). Тому вони ідеально підходять для міського транспорту з частими зупинками, як-от автобуси.

Стрімкий розвиток ринку електромобілів в Україні відбувається з акцентом на вживаних авто. За даними, оприлюдненими Анастасією Лукашевською [4], у липні 2025 року близько 84% усіх первинних реєстрацій електрокарів становлять вживані автомобілі, тоді як нові моделі, що імпортуються офіційними дилерами, займають лише 16% ринку.

Станом на кінець липня в Україні налічувалося 178 тисяч електромобілів (BEV) [4]:

1. Легкові автомобілі – 173,2 тисячі;
2. Вантажні електромобілі – 3,7 тисячі;
3. Мототехніка – майже 1,1 тисячі;
4. Електробуси – 8 штук.

Згідно з даними, опублікованими Інститутом досліджень авторинку [5], на ринку імпорту вживаних електромобілів лідерство утримує Tesla завдяки поєднанню технологічності, впізнаваного іміджу та широкого вибору моделей на світових аукціонах. Друге місце стабільно посідає Nissan, що постачає на ринок доступні та надійні моделі, зокрема Nissan Leaf. До трійки лідерів також увійшли південнокорейські бренди KIA та Hyundai, які поступово нарощують свою присутність, пропонуючи сучасний дизайн та конкурентний запас ходу навіть у бюджетних варіантах.

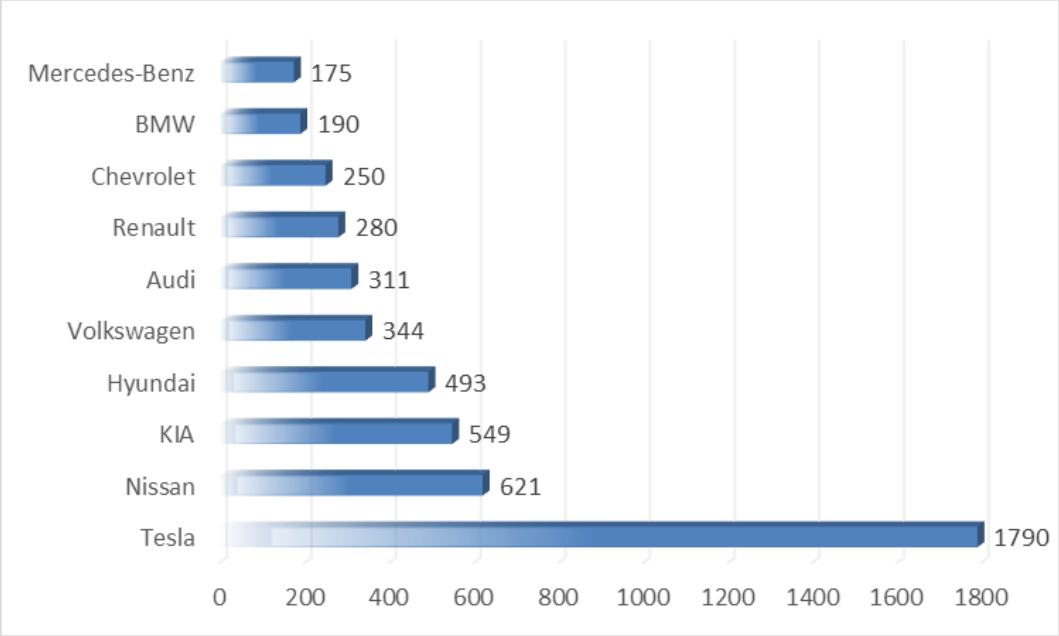


Рисунок 1 - Найпопулярніші моделі легкових електромобілів у серпні 2025 року
Figure 1 - The most popular passenger electric vehicle models in August 2025

Головними викликами для масового переходу на електротранспорт залишаються обмежений запас ходу та тривалий час заряджання. Зокрема, в комерційній діяльності ці фактори обмежують використання електромобілів лише для перевезень у межах міста чи між містами, унеможливлюючи міжнародні маршрути. Окрім цього, важливими бар'єрами є висока вартість нових електромобілів, недостатньо розвинена зарядна інфраструктура поза великими містами та психологічний «страх запасу ходу» серед потенційних покупців. Ці фактори стримують масове поширення електротранспорту, особливо в комерційному секторі, де час простою дорівнює втраті прибутку.

Щоб подолати ці проблеми, виробники активно впроваджують інноваційні технології. Наприклад, компанія CATL представила нові батареї [6], які дозволяють споживачам обирати між великою автономністю та надшвидкою зарядкою (до 10 хвилин).

Іншим ефективним рішенням, яке здатне мінімізувати час простою, є модульний принцип заміни акумуляторних батарей. Цей підхід, описаний у роботах дослідників [7,8], передбачає, що замість довготривалого заряджання можна швидко (за 10-15 хвилин) замінити розряджені модулі

акумуляторів на повністю заряджені. Кількість модулів залежить від необхідної ємності батареї (наприклад, 1 модуль на 60 кВт).



Рисунок 2 – модульний принцип заміни акумуляторних батарей для різних типів транспортних засобів

Figure 2 – Modular principle of battery replacement for different types of vehicles

Ця технологія є цілком реалістичною, що підтверджує досвід України. 30 квітня 2025 року в країну прибув перший електричний вантажний тягач [9], який використовує систему швидкої заміни батарей за 5 хвилин. Впровадження модульного принципу заміни акумуляторних батарей дозволить значно підвищити ефективність і дальність перевезень для електромобілів, електровантажівок та електробусів, мінімізуючи їх час простою на станціях заряджання.

Подальший розвиток ринку електромобілів в Україні значною мірою залежить від державної політики. Доцільним є не лише продовження податкових пільг, а й розробка комплексної національної стратегії, яка включатиме:

- стимулювання будівництва зарядної інфраструктури через державно-приватне партнерство;
- запровадження програм субсидій для придбання нових електромобілів;
- сприяння локалізації виробництва компонентів для електрокарів, включаючи системи для швидкої заміни батарей.

Висновок

Попри наявні виклики, Україна має значний потенціал для розвитку ринку електромобілів. Головні виклики, зокрема обмеження запасу ходу та тривалий час заряджання, можуть бути ефективно вирішені завдяки інноваціям. Впровадження технологій швидкої заміни акумуляторних батарей, є стратегічно важливим для підвищення ефективності та розширення можливостей комерційного електротранспорту.

Успіх переходу на електротранспорт залежить від тісної взаємодії між технологічним прогресом та державною політикою. Розробка комплексної національної стратегії та підтримка інвестицій в інфраструктуру дозволить не тільки прискорити електромобілізацію але й декарбонізацію транспортної галузі.

Список використаних джерел

1. Види електромобілів (BEV, HEV, PHEV, FCEV). – [Електронний ресурс] - URL: https://e-auto.in.ua/vidi-elektromobiliv-bev-hev-phev-fcev/

2. Електромобілі з подовженим запасом ходу (REEV). Подовжувач запасу ходу. – [Електронний ресурс] - URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Range_extender

3. Конденсаторний електромобіль. – [Електронний ресурс] - URL: https://encyclopedia.pub/entry/37079

4. Бум на електрокари в Україні: липень побив усі рекорди – найпопулярніші авто. – [Електронний ресурс] – URL: https://24tv.ua/business/elektromobili-ukrayini-naypopulyarnishi-avto-lipni-rekordna-kilkist_n2889668

5. Ринок електричних легковиків з пробігом — підсумки серпня 2025 року. – [Електронний ресурс] – URL: https://eauto.org.ua/news/880-rinok-elektrichnih-legkovikiv-z-probigom-pidsumki-serpnya-2025-roku

6. Китайська компанія представила нові батареї для електромобілів у Європі з великою дальністю. – [Електронний ресурс] – URL: https://nv.ua/ukr/auto/news/catl-shenxing-pro-novi-batareji-dlya-elektromobiliv-z-rekordnoyu-dalnistyu-i-shvidkoyu-zaryadkoyu-50543408.html

7. Порфіренко В.І. Інноваційний модульний розвиток мережі електробусних пасажирських перевезень в мегаполісах: « Інноваційний розвиток транспортного комплексу: монографія / За загал. редакцією проф. Ложачевської О.М. Київ: Міленіум, 2021. С. 130-140.

8. Порфіренко В.І., Кудін Є. Р., Міжнародні перевезення електромобілями: переваги застосування модульного принципу секційного випуску та заміни акумуляторних батарей. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», 2024. Випуск 116. Частина 1. ISSN 0365-8171 (Print), ISSN 2707-4080 (Online), ISSN 2707-4099 (CD), http://addb.ntu.edu.ua. Scientific journal «AUTOMOBILE ROADS AND ROAD CONSTRUCTION», 2024. Issue 116. Part 1. C.294. https://DOI:10.33744/0365-8171-2024-116.1-294-313

9. В Україну прибув перший електричний тягач: на що здатен такий вантажний автомобіль. – [Електронний ресурс] - URL: https://blik.ua/automobile/4154-v-ukrayinu-pribuv-pershii-elektrichnii-tyagach-na-sho-zdaten-takii-vantazhnii-avtomobil

Порфіренко Володимир Іванович – доцент кафедри менеджменту, кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: porfirenko@gmail.com

Луговцов Антон Сергійович - студент четвертого курсу за смеціальністю «Менеджмент організації та адміністрування», Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: lugovcovanton9@gmail.com

Porfirenko Volodymyr Ivanovych – Associate Professor of the Department of Management, Candidate of Economic Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: porfirenko@gmail.com

Lugovtsov Anton Serhiyovych - fourth-year student majoring in "Organizational Management and Administration", National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: lugovcovanton9@gmail.com

УДК 656.07:005.591.6

В.І. Порфіренко, Д.В. Неспосудня

МІЖНАРОДНИЙ РИНОК АВТОВОЗІВ І РОЛЬ В НЬОМУ УКРАЇНИ

Міжнародний ринок автовозів є ключовим компонентом глобальної логістичної інфраструктури, що забезпечує транспортування готових автомобілів від виробничих потужностей до дистриб'юторських центрів та кінцевих споживачів. Цей ринок характеризується високою капіталомісткістю, технологічною складністю та залежністю від макроекономічних чинників, таких як динаміка світового автопрому, торговельні угоди та геополітичні зміни. Управління цим ринком вимагає глибокого розуміння специфіки мультимодальних перевезень, включаючи комбінації автомобільного, залізничного та морського транспорту.

Ключові слова: *логістика, автовози, інновації в логістиці, цифровізація, транспортна інфраструктура,міжнародний ринок, Україна*

The international car carrier market is a key component of the global logistics infrastructure, ensuring the transportation of finished cars from production facilities to distribution centers and end users. This market is characterized by high capital intensity, technological complexity and dependence on macroeconomic factors, such as the dynamics of the global automotive industry, trade agreements and geopolitical changes. Managing this market requires a deep understanding of the specifics of multimodal transportation, including combinations of road, rail and sea transport.

Keywords: *logistics, car carriers, innovations in logistics, digitalization, transport infrastructure, international market, Ukraine.*

Міжнародний ринок автовозів є критично важливим сегментом глобальної логістики, що забезпечує транспортування автомобілів від виробничих потужностей до кінцевих споживачів. Його динаміка безпосередньо залежить від обсягів світового автопрому, технологічних інновацій (зокрема, переходу на електромобілі) та геополітичних факторів. Для України, яка значною мірою залежить від імпорту автомобілів, оптимізація цього логістичного ланцюга є стратегічним завданням.

Основним логістичним хабом для завезення нових автомобілів з Азії є морські порти країн Балтії (Клайпеда, Латвія), Німеччини (Бремергафен) та Польщі (Гданськ), звідки автомобілі доставляються автовозами до України. Вживані автомобілі зі США та Канади переважно надходять до Польщі, звідки далі транспортуються в Україну. Цей процес часто ускладнюється тривалими затримками на кордоні, які можуть тривати від декількох годин до декількох днів, що призводить до значних фінансових втрат для перевізників та імпортерів. [1]

Для кардинального вирішення цих проблем необхідна комплексна стратегія. По-перше, критично важливою є диверсифікація логістичних маршрутів. Це включає активніше використання залізничного транспорту як альтернативи автомобільному, особливо для масових партій нових авто. Залізничні перевезення можуть забезпечити більшу передбачуваність та швидкість на великих відстанях, мінімізуючи вплив прикордонних заторів. Також слід розглянути можливості морських перевезень через порти Чорного моря (за умови завершення війни) для певних маршрутів.

По-друге, необхідною є модернізація інфраструктури. Це передбачає будівництво спеціалізованих логістичних терміналів поблизу основних прикордонних пунктів пропуску, обладнаних спеціальними майданчиками для тимчасового зберігання та прискореного митного оформлення. Це дозволило б розвантажити прикордонні переходи та перенести бюрократичні процедури в спеціально обладнані зони. Крім того, інфраструктурні рішення мають включати створення великих хабів для обробки та перевантаження контейнерів, що є перспективним напрямком для імпорту автомобілів з Азії.

Нарешті, цифровізація процесів є ключем до прискорення всіх етапів. Впровадження єдиної електронної системи митного оформлення за принципом "єдиного вікна" дозволить завчасно подавати документи, уникнути паперової тяганини та мінімізувати корупційні ризики. Сучасні програмні рішення для логістичних компаній, що інтегрують дані про затори, погодні умови та стан доріг, дадуть змогу операторам автовозів будувати найефективніші маршрути та

уникнути простоїв. Впровадження таких інновацій, в поєднанні з гармонізацією українського законодавства з європейськими нормами, дозволить Україні суттєво підвищити ефективність імпорту автомобілів та інтегруватися в міжнародні логістичні ланцюги.[2]

Структура імпортованих легкових автомобілів в Україну є прямим відображенням економічних умов та споживчих переваг. Ринок імпорту характеризується стійким домінуванням вживаних автомобілів, які становлять близько 70-75% від загального обсягу ввезених легковиків. Ця тенденція є наслідком високого попиту на доступні транспортні засоби. Середній вік вживаних авто зазвичай коливається в межах 9-10 років, при цьому значну частку ринку займають автомобілі віком понад 10 років, що підкреслює попит на бюджетні рішення.

За типом двигуна, традиційні бензинові та дизельні автомобілі досі займають найбільшу частку вживаного ринку. Однак їхні позиції поступово послаблюються через стрімке зростання інтересу до альтернативних джерел енергії. Електромобілі (EV) демонструють вражаючу динаміку, і хоча їх частка поки що порівняно невелика (близько 13% у 2024 році), попит на них постійно зростає. Цей тренд, особливо помітний у сегменті вживаних електрокарів віком до 5 років, пояснюється зниженням світових цін, розширенням модельного ряду та відсутністю ввізного мита. Також на ринку збільшується частка гібридних автомобілів.

Щодо походження та моделей, основними постачальниками вживаних автомобілів є Німеччина, США та Польща. З Німеччини та Польщі імпортуються здебільшого надійні та економічні моделі, такі як Volkswagen Golf, Renault Megane, Skoda Octavia та Volkswagen Passat. Зі США в Україну переважно надходять вживані авто після ДТП. Серед вживаних електромобілів лідерами є Tesla Model Y, Nissan Leaf та Volkswagen ID.4. У сегменті нових авто, хоча їх частка значно менша, найчастіше імпортуються популярні світові моделі: Toyota RAV4, Hyundai Tucson та Volkswagen ID.4. [6]

Таким чином, структура українського автоімпорту чітко відображає прагнення споживачів до доступності та надійності, водночас демонструючи зростаючий інтерес до екологічних та технологічних новинок.

Україна відіграє специфічну, але значну роль на міжнародному ринку автовозів, переважно як великий імпортер вживаних автомобілів. Хоча українські логістичні компанії беруть активну участь у міжнародних перевезеннях, їхня частка в глобальному ринку автовозів, що забезпечують рух автомобілів між виробниками та дистриб'юторами по всьому світу, є порівняно невеликою. Основне значення України полягає в тому, що вона є одним із ключових кінцевих пунктів для великих потоків імпорту, що суттєво впливає на європейські логістичні маршрути.

Україна щорічно імпортує сотні тисяч автомобілів, переважно вживаних, з країн ЄС та США. Це робить її критично важливим споживачем послуг автовозів. Основні потоки йдуть з Німеччини, Польщі та Литви, які є логістичними хабами для авто, що імпортуються як з інших країн ЄС, так і з-за океану.

Цей попит створює значне навантаження на міжнародні транспортні коридори, особливо на автомобільні прикордонні переходи, що призводить до заторів та необхідності постійної оптимізації маршрутів.

Українські логістичні компанії активно задіяні в міжнародних перевезеннях, зокрема в доставці імпортованих авто. Вони працюють як усередині країни, так і на міжнародних маршрутах. Однак, їхній флот та масштаби діяльності, як правило, менші в порівнянні з гігантами ринку, такими як Wallenius Wilhelmsen чи Höegh Autoliners, які оперують морськими суднами та забезпечують глобальні ланцюги постачання. Українські компанії спеціалізуються переважно на автомобільних перевезеннях, транспортуючи авто з європейських портів і хабів до України.

Повномасштабна війна спричинила суттєві зміни в логістиці, переорієнтувавши основні маршрути з морських портів на західні наземні кордони. Це додатково збільшило навантаження на автомобільні перевезення та підкреслило стратегічну важливість наземних логістичних коридорів. В умовах війни, українська логістика демонструє стійкість та адаптацію, що є вагомим чинником для збереження її ролі в міжнародних транспортних ланцюгах.[4]

Міжнародний ринок автовозів стоїть на порозі значних трансформацій, які визначатимуть його розвиток у найближчі роки. Для України ці зміни мають критичне значення, оскільки країна залишатиметься одним із ключових імпортерів автомобілів у Європі.

Головною рушійною силою ринку є глобальний перехід на електромобілі (EV). Зростання частки EV у світовому автопарку вимагатиме від операторів автовозів модернізації свого флоту. Електрокари важчі за звичайні авто, що потребує посилених конструкцій, а їхні батареї потребують особливих умов транспортування з міркувань безпеки. Це спричинить значні інвестиції в нові, більш технологічні автовози та спеціалізовані судна.[3]

Іншою важливою тенденцією є цифровізація та автоматизація. Впровадження систем IoT (Інтернет речей), Big Data та AI (штучного інтелекту) дозволить оптимізувати кожен етап логістики: від прогнозування попиту до динамічного планування маршрутів в обхід заторів та прикордонних черг. Це зробить перевезення ефективнішими, економічнішими та безпечнішими.

На ринок також впливатимуть зміни в ланцюгах постачання. Тенденція до локалізації виробництва (коли автоконцерни переносять виробництво ближче до ринків збуту) може призвести до зменшення далеких, трансконтинентальних маршрутів і, відповідно, посилити регіональні перевезення. Для України це означає, що імпорт, імовірно, буде ще більше зосереджений на маршрутах з країн ЄС.

Міжнародний ринок автовозів розвивається в умовах значних викликів та можливостей. Для України, як одного з найбільших імпортерів авто, ключ до оптимізації полягає в комплексному підході. Необхідно не тільки адаптуватися до глобальних трендів, але й активно впроваджувати власні інновації.[5]

Список використаних джерел

1. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. — [Електронний ресурс]. — URL: https://mtu.gov.ua/files/TransportStrategy2030.pdf

2. Центр транспортних стратегій (CFTS). Як змінилися логістичні маршрути України після 2014 року. — [Електронний ресурс]. — URL: https://cfts.org.ua/articles/yak_zminylasya_logistika_ukrainy_pislya_2014_roku

3. Center for Transport Strategies (ЦТС). Мультимодальні перевезення: новий виклик і шанс для логістики України. — [Електронний ресурс]. — URL: https://cfts.org.ua/articles/multimodalni_perevezennya_u_vymirakh_viyny

4. International Transport Forum (ITF). The decarbonisation of freight transport. — [Електронний ресурс]. — URL: https://www.itf-oecd.org/decarbonising-freight

5. Міністерство фінансів України. Статистика імпорту автомобілів в Україну. — [Електронний ресурс]. — URL: https://www.mof.gov.ua/uk/statistic-import-auto

6. АВТО.РІА. Статистика та аналітика ринку вживаних автомобілів в Україні. — [Електронний ресурс]. — URL: https://auto.ria.com/uk/analytics/

Порфіренко Володимир Іванович – доцент кафедри менеджменту, кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: porfirenko@gmail.com

Неспосудня Дарина Василівна – студентка четвертого курсу за смеціальністю “Менеджмент зовнішньоекономічної діяльності” , Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: nespocudnya@gmail.com

Porfirenko Volodymyr Ivanovych – Associate Professor of the Department of Management, Candidate of Economic Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: porfirenko@gmail.com

Nesposudnya Darina Vasylivna – fourth-year student majoring in “Management of Foreign Economic Activity”, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: nespocudnya@gmail.com

UDK 656.1, 612.821

T. Postranskyy, N. Tiurdo

THE IMPACT OF VEHICLE SPEED IN URBAN CONDITIONS ON THE DRIVER'S FUNCTIONAL STATE

The paper examines the impact of passenger car speed on the driver's functional state in urban traffic conditions. Through field studies and their further laboratory analysis, the dynamics of changes in the driver's stress index under the influence of the above factors were established.

Keywords: *driver, functional state, speed, urban conditions, stress index.*

The increase in the number of vehicles and the global level of motorization generally lead to a decrease in traffic safety and an increase in the number of road accidents. Accordingly, the international community is focusing on implementing various programs and measures to reduce the number of injuries and deaths in traffic accidents. Generally, this helps improve road safety, but at the same time, it is equally important for car manufacturers to continually improve and refine their products, creating new active and passive safety features for vehicles.

At the same time, it should be noted that today, speed, and in particular exceeding the permitted speed limits, is one of the key causes of traffic accidents. Additionally, today, exceeding permitted speed limits is one of the key causes of traffic accidents. A significant number of scientists have studied safe driving speeds. After conducting a statistical analysis, the authors of the paper [1] found that exceeding safe driving speeds is a contributing factor in 23% of traffic accidents. In cases involving casualties, driving speed is the primary cause of these accidents. According to the data presented in source [2], when a vehicle is moving at less than 50 km/h, the probability of a pedestrian being killed is 20%, while at 80 km/h it approaches 60%. The article [3] also discusses the problem of researching safe speed modes of movement in various traffic conditions, taking into account the drivers' functional state. The authors have established a dependence that reflects the change in the studied indicator, taking into account the human factor in transportation:

$$V_{safe} = 3{,}6\frac{\sqrt{t_p^2 + \frac{2K_e(S+l_o)}{g(\varphi \pm i)}} - t_p}{\frac{K_e}{g(\varphi \pm i)}}, \qquad (1)$$

where t_p – the driver's reaction time, s.; K_e – the braking efficiency coefficient; S – he visibility distance, m; l_o – the safe interval, m; φ – the longitudinal friction coefficient; i – transverse slope, ‰.

The authors of the scientific studies [3, 4] also established a graphical dependence between visibility distance and safe driving speed. This took into account the driver's reaction time. It varied depending on their functional state. It was found that there is a logarithmic dependence between visibility distance and safe driving speed. The author of the article [5] found that as the speed of the vehicle increases, the driver's field of attention decreases. At the same time, this change occurs in different ways depending on the intensity of the traffic volume.

Therefore, the importance of researching the impact of driving speeds on the functional state of drivers is significant. This is particularly important in urban areas, where vehicles frequently interact with one another and other road users.

The research was conducted on C-class passenger cars. The vehicles were driven on the streets of Lviv. Route variations were selected based on the fact that they included both arterial roads with regulated traffic and local roads. It should also be noted that drivers of different age categories and with different driving experience participated in the experiments.

The speed of movement was measured using a “Garmin Dash Cam” video recorder with GPS function support. This enabled us to determine the average speeds of the vehicles participating in the study. After performing a mathematical analysis of this data, a corresponding distribution histogram was created:

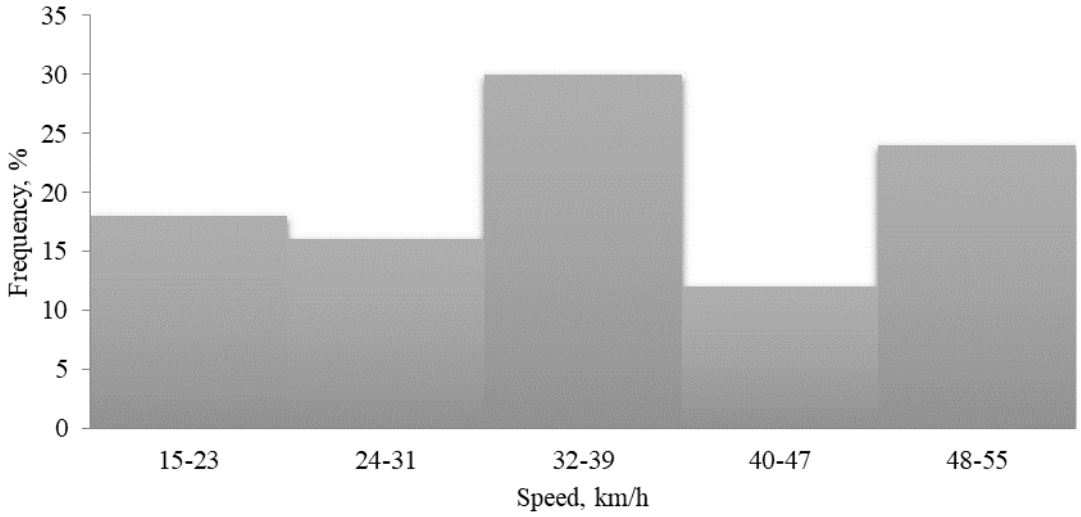


Figure 1 – Histogram of the interval distribution of vehicle speeds

Drivers' functional status was studied using a "Polar H10" heart rate sensor. The "HRV Monitor" mobile application was used as software for recording heart rate variability data. The "Kubios HRV Scientific Lite" software was used to analyze the data obtained. It is worth noting that the analysis of the recording was conducted at 5-minute intervals.

The stress index was chosen as an indicator reflecting changes in the driver's functional state. It was calculated using the following formula [6, 7]:

$$SI = \frac{AMo(\%)}{\left(2\Delta X \cdot Mo\right)}, \tag{2}$$

where $AMo(\%)$ – the value of moda in percent; ΔX – the variation range; Mo – the most common value among R-R intervals;

Typically, the SI value ranges from 80 to 150 conventional units. This parameter is highly sensitive to an increase in the tone of the sympathetic nervous system. Even a small load can raise it by 1.5–2 times, while intense loads may cause a rise of 5–10 times.

Also, in the scientific article [6] was provided the following classification of drivers' functional state depending on their stress index:

- great monotony – less than 30 c.u.;
- moderate monotony – 30 – 50 c.u.;
- mild monotony – 50 – 100 c.u.;
- functional comfort – 100 – 160 c.u;
- tension of adaptation mechanisms – 160 – 200 c.u.;
- overstressing adaptation mechanisms – 200 – 300 c.u.;
- adaptation failure, stress – more than 300 c.u.

After measuring changes in the drivers' stress index and vehicle speeds, a mathematical dependence between these indicators was established:

$$SI = -0,0192V^2 + 2,0912V + 225,83, \tag{3}$$

where V – the vehicle's speed, km/h.

Additionally, after performing a mathematical analysis of the obtained data, a graphical representation was created:

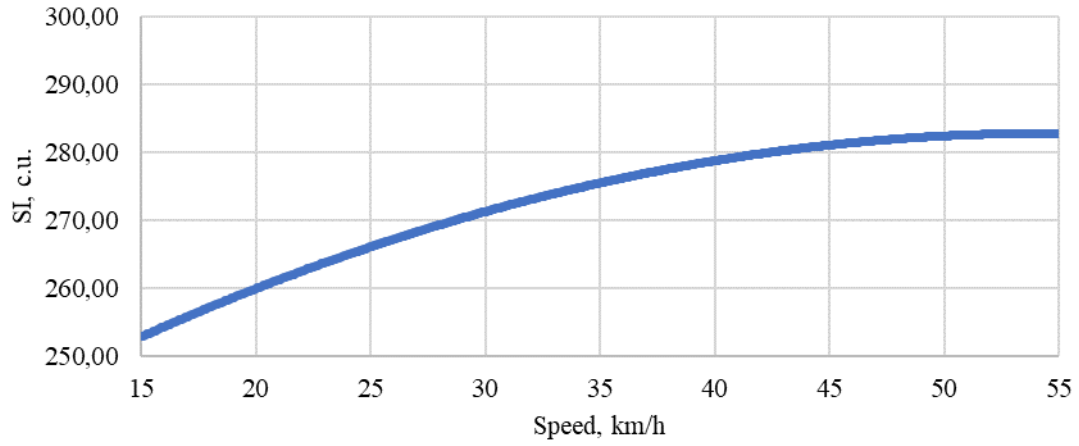


Figure 2 – The impact of the vehicle`s speed on the stress index of the driver in urban conditions

Thus, it can be concluded that as the vehicle's speed increases, so does the driver's stress index. Additionally, when driving in an urban area, drivers are influenced by a substantial number of external factors. At the same time, in such conditions, drivers are forced to analyze traffic conditions in greater detail and react more quickly to changes.

List of references

1. Пострaнський Т.М. Психофізіологічні властивості водія та безпека дорожнього руху : монографія / Т. М. Пострaнський, Ю. П. Кривенчук; за заг. ред Т. М. Пострaнського. – Львів : Вид-во Тараса Сороки, 2022. – 192 с.

2. Тиждень безпеки дорожнього руху в Україні: основні правила поведінки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://moz.gov.ua/article/health/tizhden-bezpeki-dorozhnogo-ruhu-v-ukraini-osnovni-pravila-povedinki

3. Жук М. М. Визначення безпечної швидкості руху автомобіля у складних умовах з урахуванням функціонального стану водія / М. М. Жук, В. В. Ковалишин. // Автошляховик України. – 2012. – №6 (230). – С. 13–16.

4. Ковалишин В. В. Швидкісні режими руху автомобіля у гірських умовах з урахуванням психофізіологічних особливостей водія : дис. кандидата технічних наук: 05.22.01 / В. В. Ковалишин. – Х. :ХНАМГ, 2013. – 171 с.

5. Кужель В.П. Дослідження особливостей сприйняття дорожньої обстановки водієм в темну пору доби / В.П. Кужель // Вісник ЖДТУ. – 2012. – №3 (62). – С. 94–101.

6. Davidich Y. Change of car driver's stress index during different periods of the day in urban traffic conditions / Y. Davidich, Y. Kush, D. Ponkratov // Transport technologies. – 2020. – 1(2). – С. 23–32.

7. Афонін М.О. Вдосконалення технологічних процесів перевезення небезпечних вантажів з урахуванням фактора людини : дис. кандидата технічних наук: 05.22.01 / М.О. Афонін. – Львів. Національний університет «Львівська політехніка», 2019. – 187 с.

Taras Postranskyy **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Technologies, of Transport Technologies, Lviv, e-mail: taras.m.postranskyi@lpnu.ua

Nazar Tiurdo **–** PhD student of the Department of Transport Technologies, of Transport Technologies, Lviv, e-mail: nazar.o.tiurdo@lpnu.ua

Пострaнський Тарас Миколайовиіч **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, e-mail: taras.m.postranskyi@lpnu.ua

Тюрдьо Назар Олегович **–** аспірант кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, e-mail: nazar.o.tiurdo@lpnu.ua

УДК 621.317

О.Д. Почужевський, В.Ю. Федірко

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗАХИСТУ КУЗОВА АВТОМОБІЛЯ ВІД КОРОЗІЇ ТА ІРЖІ

Розглянуто проблему корозії автомобільних кузовів — одного з найактуальніших питань для власників транспортних засобів, особливо в умовах суворого клімату та застосування дорожніх реагентів. Автори розглядають механізми виникнення корозії (електрохімічне окислення заліза з утворенням іржі), фактори, що прискорюють процес (волога, сіль, механічні пошкодження ЛКП), та найуразливіші зони кузова (пороги, колісні арки, нижня частина дверей тощо). Проаналізовано сучасні методи захисту: пасивні (віск, антигравій), активні (гальванічний захист), перетворювальні (хімічні нейтралізатори іржі) та інноваційні підходи — зокрема, застосування наноматеріалів (наприклад, на основі графену) та гібридних покриттів. Наведено порівняльну таблицю ефективності, вартості та тривалості дії різних методів. Зроблено висновок про необхідність комплексного підходу до антикорозійного захисту, що поєднує регулярне технічне обслуговування, використання сучасних матеріалів і оптимізацію умов експлуатації. У майбутньому перспективними напрямами є розробка екологічно безпечних покриттів для електромобілів та впровадження технологій штучного інтелекту для моніторингу стану кузова.

Ключові слова: *корозія автомобіля, антикорозійний захист, іржа, наноматеріали, перетворювач іржі, гібридні покриття, профілактика корозії.*

The problem of corrosion of car bodies is considered - one of the most pressing issues for vehicle owners, especially in harsh climates and the use of road reagents. The authors consider the mechanisms of corrosion (electrochemical oxidation of iron with the formation of rust), factors that accelerate the process (moisture, salt, mechanical damage to the paintwork), and the most vulnerable areas of the body (thresholds, wheel arches, lower part of the doors, etc.). Modern protection methods are analyzed: passive (wax, anti-gravel), active (galvanic protection), conversion (chemical rust neutralizers) and innovative approaches - in particular, the use of nanomaterials (for example, based on graphene) and hybrid coatings. A comparative table of the effectiveness, cost and duration of action of various methods is presented. The conclusion is made about the need for a comprehensive approach to anti-corrosion protection, combining regular maintenance, the use of modern materials and optimization of operating conditions. In the future, promising areas include the development of environmentally friendly coatings for electric vehicles and the implementation of artificial intelligence technologies for monitoring the condition of the body.

Key words: *car corrosion, anti-corrosion protection, rust, nanomaterials, rust converter, hybrid coatings, corrosion prevention.*

Кожен власник автомобіля мріє зберегти свою машину в ідеальному стані на довгі роки. Але з часом, на жаль, на кузові неодмінно з'являються сліди корозії та іржі. З цією бідою стикаються практично всі водії, особливо в умовах суворих кліматів та під впливом дорожніх солей [1]. Корозія – це процес руйнування металу чи сплаву через окислення під впливом навколишнього середовища. Найбільше корозії піддаються деталі кузова автомобіля. Вона не тільки послаблює метал, але й може призвести до повної руйнації кузова. Якщо розглядати найбільш поширений вид корозії залізовмісних сплавів у повітряному середовищі, то можна представити це так: залізо (Fe) під впливом кисню (O2) з повітря окислюється до FeO або Fe2O3, а під дією вологи, яка є в повітрі, на поверхні металу утворюється іржа. Крім того, відбуваються електрохімічні процеси окиснення заліза, що перетворюють його на іржу, яка з часом вражає глибші шари металу [2].

Швидкість корозії може залежати від багатьох факторів. Наприклад, потрапляння солі на поверхню є важливим, оскільки в ній містяться іони хлору. Вони є потужним каталізатором корозії, а взимку наші дороги посипають цією речовиною для боротьби з ожеледицею. Стає очевидним, чому в Україні ця проблема така актуальна для кожного власника автомобіля. Проблема антикорозійного захисту автомобілів також актуальна для скандинавських автолюбителів. Відомо, що зима в цих країнах теж триває досить довго. Ймовірно, саме тому

Швеція стала законодавцем в цій сфері. Корозія металу привернула увагу дослідників після того, як цей матеріал почали використовувати для виготовлення транспортних засобів [3].

Сучасні дослідження щодо корозії автомобільних кузовів зосереджуються на багатокомпонентних підходах, включно з наноматеріалами та екологічно чистими покриттями. Скажімо, у праці [4] вивчаються новітні полімерні композити для захисту від корозії, що демонструють значну стійкість до солей та вологи. Закордонні науковці, як-от Smith та колеги [5], досліджують вплив кліматичних чинників на корозію в Європі та пропонують гібридні рішення, що базуються на цинку та епоксидних смолах. У джерелі [6] висвітлено застосування катодного захисту в електромобілях, що є актуальним для сучасного автомобілебудування. Особливості використання електромобілів, зокрема аспекти захисту від корозії в умовах експлуатації, розглянуто в [7]. Українські наукові доробки [8] звертають увагу на традиційні способи, проте не зовсім повно розкривають новітні розробки. Залишаються невирішеними питання тривалої ефективності наноматеріалів в умовах суворого клімату та інтеграція захисту в електричні транспортні засоби. У дослідженні [9] підкреслено необхідність пошуку екологічно прийнятних альтернатив хімічним перетворювачам іржі [10]. Крім того, оцінка ефективності вантажних перевезень, наприклад, у ВАТ "Магістраль-Транзит", підкреслює роль антикорозійного захисту для забезпечення надійності автопарку та оптимізації логістичних процесів [11].

Які частини найбільше піддаються корозії? Зварні чи клепані металеві конструкції містять багато порожнин та місць зіткнення. Будь-яка з них може стати слабкою ланкою, але найчастіше страждають від іржі: нижня частина дверей та пороги – вони найближчі до дороги, а тому першими приймають удари від їзди по калюжах, мокрому покриттю, снігу; ніші над колесами та задні дахи. Вони піддаються впливу піску, пилу, постійно контактують з реагентами, якими посипають дороги; передня частина капота. На неї потрапляє дощова вода, яку додатково жене повітряний потік; ділянки під обшивкою. Це складні ребра жорсткості, де збирається волога; тріщини та відколи на лакофарбовому покритті автомобіля. Ці місця потребують не лише профілактики, а й повноцінного захисту. Одноразова обробка з часом втрачає ефективність, і її потрібно повторювати [8].

Наведемо головні причини появи іржі:

1. Вплив вологи та кисню – найпоширеніший фактор, особливо у вологому кліматі.
2. Контакт з дорожньою сіллю – взимку сіль прискорює окислення металу.
3. Механічні ушкодження – відколи фарби та подряпини відкривають метал, сприяючи корозії.
4. Недостатнє лакофарбове покриття – зношене або низькоякісне покриття не захищає метал.
5. Застарілі автомобілі – в старих авто антикорозійний захист слабший.

Слід зазначити, чим раніше виявлена іржа, тим простіше її усунути. Якщо ж корозія пронизала метал наскрізь, локальний ремонт не дає результату – треба замінити постраждалу деталь або виконати зварювальні роботи.

Методи відновлення:

1. Зварювання нових металевих латок – найефективніший спосіб ремонту кузова.
2. Нанесення рідкого металу або армованої шпаклівки, проте це лише тимчасове рішення.

Варто підкреслити, що при наявності наскрізної іржі на несучих елементах кузова (пороги, лонжерони) безпека транспортного засобу під загрозою. Тому рекомендується звернутися до станції технічного обслуговування для професійного відновлення [12].

Необхідно також розглянути різновиди та стадії іржі. Іржа – одна з головних проблем, з якими стикаються власники автомобілів. Вона може пошкоджувати кузов і призводити до серйозних проблем зі структурою та зовнішнім виглядом.

Нижче представлено різні типи і стадії іржі, які можуть виявитися на авто:

1. Поверхнева іржа: обмежується лише зовнішнім шаром металу, зазвичай виглядає як дрібні корозійні плями або пухирці. Така іржа часто виникає через пошкодження лакофарбового шару або проникнення вологи в металеву поверхню.

2. Плями іржі: характеризуються утворенням виразних ділянок на кузові. Це місця інтенсивної корозії, куди іржа проникає глибше в метал.

3. Глибока іржа: найсерйозніша та найнебезпечніша форма. Корозія проникає у найглибші шари металу, може призвести до утворення отворів і суттєвого руйнування конструкції автомобіля [13].

Які існують способи захисту від корозії? Наявні методики розділяють на пасивні, активні, перетворювальні та конструктивні. У першому випадку спеціальні суміші наносять тільки на вразливі місця, у другому використовуються засоби для видалення вологи. Перетворювальний захист передбачає видалення іржі або перетворення її на ґрунтовку, а конструктивний – використання пристроїв анодного та катодного захисту [14]. Запобігання корозії: Регулярне миття та чищення автомобіля. Регулярне миття та чищення машини дозволяє видалити сіль, бруд та інші забруднення, які можуть викликати корозію. Нанесення захисних покриттів: Віск, антигравійні покриття та інші захисні матеріали допоможуть створити бар'єр проти вологи та хімічних речовин. Регулярний огляд та технічне обслуговування: Регулярна перевірка на ознаки корозії є ключем до швидкого виявлення та вирішення проблем. Зберігання в гаражі: Зберігання транспортних засобів в гаражах може значно зменшити їхній вплив на погодні умови та забруднення. Гальваніка: Захист від корозії можна посилити, встановивши аноди, які електрично взаємодіють з металевим корпусом [15].

Методів боротьби з існуючою корозією декілька. Розглянемо основні: Механічний метод. Пошкоджені місця обробляються шкіркою. Спочатку використовується груба шкурка, а потім – більш дрібна. Для цих робіт також застосовується шліфувальна машинка. Хімічний метод. В цьому випадку використовуються хімічні сполуки, які перетворюють іржу. Вони запобігають поширенню корозії на сусідні ділянки. Сучасний ринок автохімії пропонує великий вибір розчинів, які відмінно справляються з цією проблемою. Це і "Нейтралізатор іржі ВСН-1", і ортофосфорна кислота, та інші препарати [16].

Які існують методи продовження терміну дії експлуатаційного ресурсу кузова автомобіля? 1. Застосування цинкових покриттів. Використання цинкових антикорозійних шарів на кузовних елементах підвищує корозійну стійкість металу. Хоча сучасні транспортні засоби здебільшого оснащені оцинкованими деталями, додаткове нанесення цинкових спреїв забезпечує точковий захист у зонах підвищеного ризику. 2. Монтаж захисних підкрилків. Установлення захисних елементів у колісних арках знижує інтенсивність механічного та хімічного впливу абразивних частинок, дорожнього бруду та солей, які є каталізаторами корозійних процесів. 3. Регулярний технічний моніторинг. Періодичний огляд кузовних поверхонь на предмет локальних вогнищ корозії дозволяє здійснювати їх ранню ідентифікацію й своєчасну ліквідацію, що мінімізує ймовірність поширення деструктивних процесів. 4. Оптимізація умов зберігання. Експлуатація автомобіля у сухих приміщеннях або під спеціальними навісами істотно знижує ризик корозійних ушкоджень. Постійне перебування транспортного засобу на відкритому повітрі, особливо у вологому кліматі чи прибережних зонах, сприяє прискоренню деградаційних процесів металу [17].

Згідно з дослідженням 2023 року, наноматеріали на основі графену підвищують стійкість покриттів на 30-50% у солоному середовищі [4]. У Європі, за даними 2022 року, гібридні епоксидно-поліуретанові покриття зменшують корозію на 40% у зимових умовах [5].

Таблиця 1 - Порівняння методів захисту від корозії [3]

Метод	Ефективність (%)	Вартість (ум. од.)	Термін дії (роки)
Пасивний (віск)	60-70	Низька	1-2
Активний (гальваніка)	80-90	Середня	3-5
Перетворювальний (хімія)	70-80	Низька	1-3
Наноматеріали	90-95	Висока	5-7

У роботі розглянуто процеси корозії кузовів, вразливі місця та методи захисту. Ключові аспекти: регулярне миття та покриття для профілактики; механічні/хімічні методи для усунення іржі; наноматеріали для посилення стійкості. Перспективи: екологічні покриття для електромобілів [7] та ШІ для моніторингу.

Список використаних джерел

1. Перетворювачі іржі: порятунок для авто. URL: https://tandemshop.com.ua/ua/a488468-preobrazovateli-rzhavchiny-spasenie.html (дата звернення: 09.09.2025).

2. Захист металів від корозії. URL: https://bleskavto.kiev.ua/zashita-metalov.html (дата звернення: 09.09.2025).

3. Як уникнути корозії автомобільного кузова. URL: https://autostate.com.ua/uk/jak-uniknuti-korozii-avtomobilnogo-kuzova.html (дата звернення: 09.09.2025).

4. Advances in corrosion protection coatings: A comprehensive review. URL: https://ijcsi.pro/wp-content/uploads/2023/10/ijcsi-2023_v12-n4-p6.pdf (дата звернення: 09.09.2025).

5. Recent advances in anticorrosive coatings based on sustainable polymers: Enhanced functionality for industrial applications. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897224002263 (дата звернення: 09.09.2025).

6. Creating sustainable coatings that protect products and the environment. URL: https://cordis.europa.eu/article/id/457672-creating-sustainable-coatings-that-protect-products-and-the-environment (дата звернення: 09.09.2025).

7. Почужевський О.Д., Федірко В.Ю. Особливості використання електромобілів. Український державний університет залізничного транспорту, 2023. URL: http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/19323 (дата звернення: 16.09.2025).

8. Захист кузова від корозії. URL: https://auto-master.in.ua/uk/zahist-kuzova (дата звернення: 09.09.2025).

9. Europe Solvent-Based Corrosion Protection Coating Market Key Strategies and Growth Forecast for 2024-2032. URL: https://www.linkedin.com/pulse/europe-solvent-based-corrosion-protection-coating-market-mkyif/ (дата звернення: 09.09.2025).

10. Automotive Specialty Coatings Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology. URL: https://straitsresearch.com/report/automotive-specialty-coatings-market (дата звернення: 09.09.2025).

11. Федірко В.Ю. Оцінка ефективності вантажних перевезень ВАТ "Магістраль-Транзит". 2024. URL: http://ds.knu.edu.ua/jspui/handle/123456789/6449 (дата звернення: 16.09.2025).

12. Іржа на авто: ефективні методи та поради. URL: https://tutservice.com.ua/jak-pribrati-irzhu-na-avto-efektivni-metodi-ta-poradi (дата звернення: 11.09.2025).

13. Боротьба з іржею автомобіля. URL: https://paintbox.ua/boremosya-z-irzheyu-na-avto-shho-krashhe-kislotnij-chi-epoksidnij-grunt (дата звернення: 11.09.2025).

14. Корозія кузова автомобіля: як її уникнути. URL: https://sto-tireland.com.ua/ua/koroziya-kuzova-avtomobilya-yak-yiyi-unyknuty.html (дата звернення: 09.09.2025).

15. Захист від корозії: запорука довговічності автомобіля. URL: https://pro-sto.lviv.ua/blog/59-zahist-vd-korozyi-zaporuka-dovgovchnost-avtomoblya.html (дата звернення: 09.09.2025).

16. Іржа на кузові: способи та методи боротьби. URL: https://avtoto.com.ua/ua/blog/korisni-poradi-avtovlasnikam/irzha-na-kuzovi-sposobi-ta-metodi-borotbi.html (дата звернення: 09.09.2025).

17. Боротьба з корозією: як захистити свій автомобіль від іржі. URL: https://avtovikup.kh.ua/uk/blog/fighting-corrosion-how-to-protect-your-car-from-rust (дата звернення: 09.09.2025).

Почужевський Олег Дмитрович - к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, email: Pochuzhevskyi@knu.edu.ua

Федірко Вікторія Юріївна - магістрантка кафедри автомобільного транспорту, Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, email: v9049478@gmail.com

Pochuzhevskyi Oleh D. - PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, email: Pochuzhevskyi@knu.edu.ua

Fedirko Viktoriia Yu. - Master's student of the Department of Automobile Transport, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, email: v9049478@gmail.com

УДК 656.073.44

Г.С. Прокудін, В.А. Даніва, П.К. Поляк

АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В ЛОГІСТИЦІ УКРАЇНИ

Проаналізовано сферу використання спеціалізованих причипів та напівпричипів в різних сферах економіки України, чим це загрожує замовникам та перевізникам, з прикладами використання відповідних транспортних засобів в Євросоюзі. Представлені теоретичні розрахунки часу окупності цих транспортних засобів.

Ключові слова: *спеціалізовані причепи, газові трейлери, кріоцистерна, животновози, небезпечні відходи, біоенергетика, експорт біометану*

The sphere of specialized trailers and semi-trailers in various areas of use has been analyzed, which threatens customers and carriers, with an example of the use of relevant vehicles in the European Union. Theoretical calculations of how long it will take to replace these vehicles are presented.

Keywords: *specialized trailers, gas trailers, cryotanker, livestock trucks, hazardous waste, bioenergy, export of biomethane*

На даний момент в Україні існує прихована проблема, яка стосується багатьох сфер впливу на економіку України, а саме мінімальна наявність або ж повна відсутність певних спеціалізованих типів причипів, через що якість і обсяги перевезення вантажів знижується, а час навантажувально-розвантажувальних робіт збільшується. Хоча в Європі це давно знана практика, яка з часом тільки продовжує розвиватись, наші логістичні автопарки змушені делегувати частину роботи іноземним компаніям, що зменшує дохід автотранспортних підприємств (АТП) України.

Такими сегментами рухомого складу АТП є:

- **газові трейлери для водню та біометану**

В Україні такого типу причипів дуже мало, тому що усе транспортування газу здійснюється у більшості трубопроводом, що вимагає великі інвестиції, через що доставка та продаж недоступні для малих та середніх бізнесів.

Сектор біометану для нашої країни є новим та стрімко розвиваючимся, з перспективою стати прибутковим. Наразі в Україні функціонують 4 біометанові установки, три з яких вже експортують паливо до країн Європи (Польща, Німеччина) [1], незважаючи на те що ця сфера почала розвиватись лише в 2023 році. Транспортування автомобілями могло б розширити сферу продажу пального, наприклад, до ТЕЦ, АЗС та різних підприємств, що значно покращить стан цього сегменту та зробить його більш доступнішим.

Актуальність водню не уступає біометану, давно й успішно використовуваним, як джерело або носій енергії, робочим сировинним компонентом у нафтовій промисловості, виробництві мінеральних добрив, органічної хімічної промисловості, металургії, електроніці, виробництві скла, космічної індустрії і атомній енергетиці, виробництві продуктів харчування [2].

Відсутність причіпу типу *tube-trailer* (високотискові балони) або ж кріоцистерн, якій є активно використовуваними в ЄС, повністю зупиняє логістику, що уповільнює розвиток цієї сфери виробництва.

- **животновози**

Перевезення причіпами що відповідають стандартам, з вмонтованами поїлками та термоконтролем, лише одиничній випадки. Хоча в нашому законодавстві не вказана точна інформація з приводу перевезення тварин, окрім як площі, яка виділяється на одну тварину та забов'язання прив'язувати її під час транспортування, заради зменшення механічних ушкоджень, з точки зору етичного поводження з худобою [3]. Але було б добре мати більш стандартизований транспорт для перевезення тварин. В наших реаліях використовують звичайні тентові причіпи або бортові причіпи, що повністю не відповідають стандартам ЄС.

- **причепи для перевезення небезпечних відходів (медичних, хімічних, фармацевтичних)**

Сегмент цього спеціалізованого автопарку практично відсутній в Україні, замість цього компанії використовують перероблені паливні цистерни або автоцистерни, що є небезпечним та знижує якість товару. Значний обсяг вантажу перевозяться залізницею, що зменшує мобільність

та робить покупку такого типу речовини значно дорожчим. Існують окремі випадки, коли локально перевозять від станції залізниці до споживача, але одиниць такої техніки вкрай мало, що робить перевезення значно дорожчими ніж в ЄС.

Галузь кислот є достатньою широкою, а саме, це і виробництво добрив, хімічне виробництво, очищення води, обробка металу, харчова промисловість, паперова промисловість та багато інших галузей, які потребують доступу до цих речовин, залишаються непоміченими, через що процеси виробництва стають складнішими [4].

- **причепи для рідких органічних добрив(дигестат, гнійні стоки)**

Дигестат – це продукт біоконверсії органічних матеріалів у процесі метанового бродіння, в результаті чого комплексна органічна речовина розпадається до більш простих органічних сполук, мінералізованих речовин, мікробної біомаси та біогазу, які складаються переважно з метану (55-70%) та вуглекислого газу (30-45%) [5]. В результаті отримуємо органічне добриво, яке містить органічний вуглець та комплекс макро- та мікро-елементів, що підвищує урожайність та сприяють розвитку біогазового сегменту. Нестача причипів типу *slurry tankers* з мішалкою та шнековим насосом, що постійно перемішує рідину, призводить до осідання волокон, соломи та залишків кормів, через що забивається система в універсальному типі причіпу, такому як водовоз. Також через корозійно-активний склад, тобто через аміак, органічні кислоти та сірководень, стінки звичайного причіпу швидко зношуються та ржавіють. На відміну від спеціалізованого з оцінкової сталі, нержавійки чи з внутрішнім антикорозійним покриттям.

- **причепи для специфічної біомаси та аграрних відходів**

Транспортування матеріалів для виготовлення біогазу, є основною проблемою зі сторони логістики. На даний момент українському ринку критично не вистачає силосних причипів з можливістю герметизації, через що транспортування такого роду вантажів відбувається в самоскидах та іншому підлаштованому виді транспорту, що призводить до проблем з розвантаженням та додаткових витрат на обслуговування транспортного засобу. Вивітрювання, пересушення та атмосферні чинники погіршують якість речовини, що негативно впливає на її подальше використання. Звісно деякі підприємства мають власний транспорт, але це тільки наслідки нестачі забезпечення логістичних фірм. Ця проблема торкається не тільки виробників біопалива, а вчасності і агрохолдингів, які виробляють корми. Таких холдингів в країні більше 100, що робить нестачу причипів суттєвою як для виробників так і для всієї економіки України.

- **причепи для спеціальних відходів АПК (агропромисловий комплекс)та харчова промисловість**

Олійно-жирові відходи, відходи спиртового виробництва, відходи біо-дизельного виробництва, відходи м’ясо- та молоко-переробки та інші органічні відходити харчової промисловості, залишаються без свого типу транспорту, що погіршує перевезення та розвантаження. Налипання речовини на стінки кузова призводить до більших витрат на мийку та збільшення процесу навантажувально-розвантажувальних робіт. Цистерни-спецверсії з підігрівом, причепи-контейнери з герметизацією та причепи з системами перемішування є критично важливими для цього сектору, так як сировини такого типу дуже затребувані за кордоном, але відсутність їх на ринку, робить експорт проблематичним. Підприємствам приходиться робити поставки через посередників у Польщі або інших прикордонних країнах. Так як в Україні відходи часто возять в паливних цистернах або в відкритих самоскидах, екологія зазнає негативного впливу, через витоки речовин у ґрунт і воду, сильний запах, поширення шкідливих мікроорганізмів.

Загалом орієнтовний попит на всі вищеперераховані типи спеціалізованих причепів досягає приблизно 8 тис одиниць. Найбільший дефіцит спостерігається в сегменті відходів агропромислового комплексу України (АПК), добрив типу дигестат та біомаси, які використовуються як для зеленої логістики так і для сільських господарств [6].

Потенціал біоенергетики, де в основну використовується ці речовини, є стрімко розвиваючимся. За даними біоенергетичної асоціації України до 2030 в країні має бути збудовано 10 біо-метанових установок, через що нестача спеціалізованих причипів може призвести до погіршення роботи або зупинки підприємств галузей економіки України [1]. Біоенергетика – це сучасне рішення для досягнення екологічності та сталих доходів підприємств АПК, що у свою чергу збільшить кількість робочих місць та у майбутньому допоможе стати логістиці незалежною від викопного палива, зосередившись на місцевому виробництві. Тому недостатність засобів та

транспортних засобів перевезення «чим є» зупиняє розвиток новітнього сектору, що погіршує ситуацію в цілому. До прикладу відсутність газових трейлерів в Україні змушує виробників, делегувати перевезення європейським транспортним компаніям, що робить нашу логістику не конкурентно-спроможною на європейському та світовому ринках.

Схожа ситуація і в аграрному секторі. Через спільні речовини, які потрібні для виробництва біометану та виготовлення кормів для тварин та удобрення ґрунту, нестача причипів призводить до погіршення якості товарів та зупиняє розвиток цієї галузі економіки країни. Україна за 2024 рік виготовила 22,4 млн тон різних видів кормів [7], що без належного транспортування зменшує дохід сектору, та затримування процесу виготовлення. Якщо враховувати що втрата від сировини під час перевезення в неадаптованому виді транспорту втрачає від 5% від усієї біомаси, можна з упевненістю сказати що, загальна втрата вантажу становить 1,1 млн тон на рік.

Якщо продовжити ігнорувати проблему дефіциту, українські перевізники втратять можливість виходити на європейський ринок, через невідповідність стандартам ADR для небезпечних вантажів, Welfare Regulation для тварин, екостандарти для органічних добрив [8]. Натомість іноземні компанії займуть цей сегмент, через що доходи зменшуються для вітчизняних АТП. За даними Pro- Consulting, у звіті «Управління відходами» (2024) фінансова ємність сектору відходів становить 1,8 млрд € [9]. Це достатньо прибутковий сегмент, через втрату якого можна позбутись стабільного джерела доходу. Крім того потенціал біоенергетики великий, але поки не має чітких даних. Хоча по оцінкам Біоенергетичної асоціації потенціал біогазу оцінюється до 2050 року в 21,8 млрд куб. м/рік., ми все одно не можемо з впевненістю сказати скільки буде становити відповідний дохід.

Тому побудуємо графіки перспектив розвитку логістики для спеціалізованих перевезень вантажів в Україні на період з 2025 по 2035 роки.

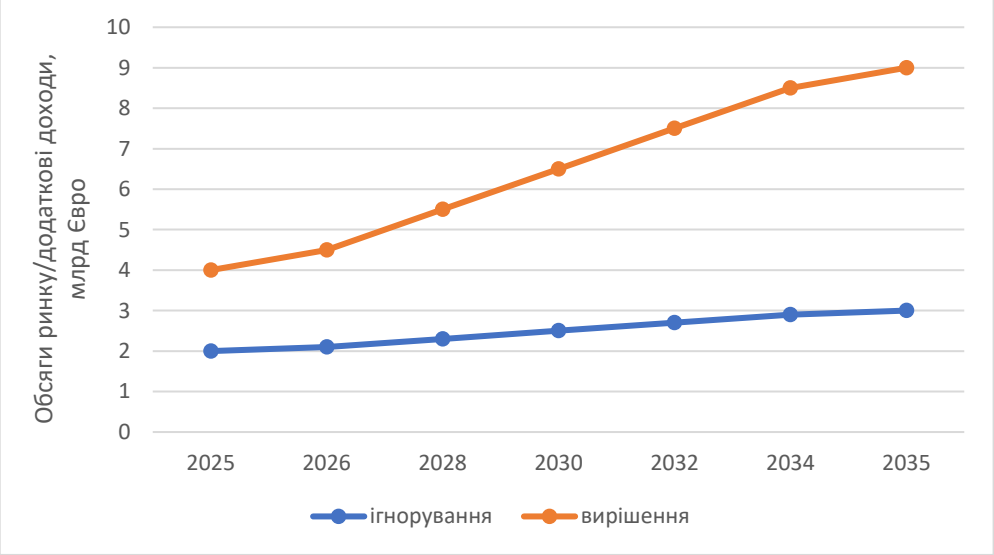


Рисунок 1 – Графіки перспектив розвитку логістики
для спеціалізованих перевезень вантажів в Україні

Отже після побудови графіків можна наглядно побачити сценарний підхід ігнорування та вирішення проблеми. Для початкових значень було обрано 2,0 млрд €. Для «ігнорування» було обрано обрала +0.1 млрд €/рік (ігнорування), що відповідає повільному природному зростанню галузі (певне підвищення цін, загальний економічний ріст, але без структурних змін). Для «вирішення» було обрано +0.4 млрд €/рік (вирішення проблеми) – засновано на сукупному ефекті: збільшення експорту біометану (приблизно 500 млн €/рік); підвищення експорту/ціни кормів і органічних добрив (200–300 млн €/рік); внутрішні логістичні вигоди і зниження витрат (100–200 млн €/рік), які залишаються в економіці; часткова локалізація виробництва причепів – економія й додаткові продажі.

Розвиток парку спеціалізованих причепів в Україні може стати потужним драйвером для економіки країни та логістики, відкривши нові можливості для внутрішнього ринку й

міжнародної співпраці. Впровадження газових трейлерів, *tube-trailer*, *slurry tankers,* силосних причепів та транспорту для агровідходів дозволить створити повний цикл перевезень для біоенергетики та аграрного сектору країни, що забезпечить стабільність виробництва і зростання експорту. Це дасть змогу українським компаніям самостійно виконувати перевезення, зменшивши залежність від іноземних та залишивши доходи всередині країни. Додатковий розвиток внутрішнього машинобудування для виробництва таких причепів стимулюватиме створення робочих місць, підвищить технологічний рівень галузі та сприятиме інтеграції України в європейський ринок. У результаті наша логістика стане сучасною, екологічною та конкурентною, а Україна зможе реалізувати свій потенціал як надійного експортера біометану, органічних добрив і агропродукції.

Список використаних джерел

1. Виробництво та використання біоенергії в Україні: новини та аналітика - 23.05.2025 URL: https://uabio.org/news/17785/ (дата звернення: 27.09.2025 року).

2. Нові водневі технології та питання безпеки. BDO Ukraine. URL - 2021: https://www.bdo.ua/uk-ua/blogs-2/consulting/new-hydrogen-based-technologies-and-safety-issues (дата звернення: 27.09.25 року).

3. Правила перевезення живого вантажу - 2025. URL: https://ua.pereezd.net.ua/pravila-perevezennya-zhivogo-vantazhu.html (дата звернення: 28.09.2025 року).

4. Understanding Sulfuric Acid: Production, Uses and Safety Measures. Foodcom. URL: https://foodcom.pl/en/understanding-sulfuric-acid-production-uses-and-safety-measures/ (дата звернення: 28.09.2025 року).

5. Розвиток відновлюваної енергетики в Україні. SAF. – 16.04.2020 URL: https://saf.org.ua/news/984/). (дата звернення: 28.09.25 року).

6. Kalinichenko, A., Havrysh, V., & Vasylinych, T. (2020). Energy and Environmental Aspects of Manure Processing in Ukraine. *Energies*, 13(21), 5755. MDPI. URL: https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5755 (дата звернення: 28.09.25 року).

7. Infobook: Ukrainian Agribusiness 2023–24. Київ: UCAB, 2023. 128 с. (електронний ресурс). URL: https://www.agroberichtenbuitenland.nl/binaries/agroberichtenbuitenland/documenten/publicaties/2025/02/17/agribusiness-of-ukraine-2023-2024/Infobook-Ukrainian+Agribusiness-2023-24.pdf (дата звернення 29.09.2025 року).

8. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Report on Hydrogen in Energy Systems. Geneva, 2023. URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-08/ECE_ENERGY_GE.7_2023_4e.pdf (дата звернення 29.09.2025 року).

9. Pro-Consulting. Аналіз управління відходами і реалізації принципів циркулярної економіки в Україні – 2024 рік. URL: https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-upravleniya-othodami-i-realizacii-principov-cirkulyarnoj-ekonomiki-v-ukraine-2024-god (дата звернення 30.09.2025 року).

Прокудін Георгій Семенович **–** д.т.н., професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: p_g_s@ukr.net

Даніва Валерія Андріївна – студентка 3 курсу спеціальності 275 - Транспортні технології (на автомобільному транспорті), Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: lera.daniva@gmail.com

Поляк Петро Карлович – Phd-аспірант 2 курсу спеціальності 275 - Транспортні технології (на автомобільному транспорті), Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: ppolyak94@gmail.com

Prokudin Georgy S. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: p_g_s@ukr.net

Daniva Valeriia A. – student of the 3rd year of the specialty 275 - Transport technologies (on road transport), National Transport University, Kyiv, e-mail: lera.daniva@gmail.com

Polyak Petro K. – PhD-postgraduate student of the 2nd year of specialty 275 - Transport technologies (in road transport), National Transport University, Kyiv, e-mail: ppolyak94@gmail.com

УДК 656.078 : 519.2

Г.С. Прокудін, А.П. Назарова, І.І. Прокудіна

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ СТАНІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Розглянуто підхід до визначення ймовірностей станів життєвого циклу автомобіля на основі розв'язання системи рівнянь Колмогорова. Запропонований підхід дозволяє більш ефективно організувати роботу автотранспортних підприємств, а саме його підрозділів, які відповідають за реалізацію окремих фаз життєвого циклу автотранспортних засобів.

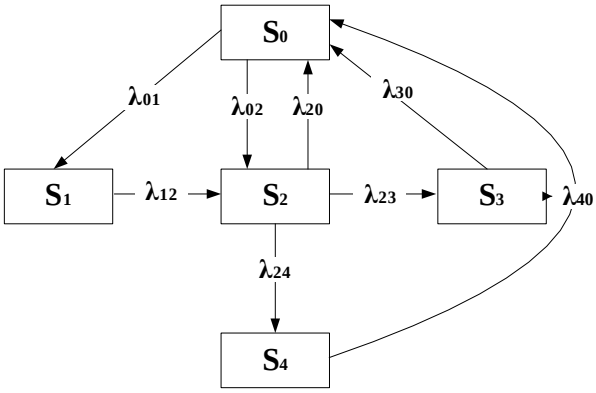
Ключові слова: *автотранспортне підприємство, автомобіль, стан системи, життєвий цикл, ймовірність, граф станів, система алгебраїчних рівнянь, матричний метод.*

An approach to determining the probabilities of vehicle life cycle states based on solving the Kolmogorov equation system is considered. The proposed approach allows for more effective organization of the work of motor transport enterprises, namely its divisions responsible for the implementation of individual phases of the vehicle life cycle.

Keywords: *motor transport enterprise, car, system state, life cycle, probability, state graph, system of algebraic equations, matrix method.*

На сьогоднішній день ефективність роботи багатьох автотранспортних підприємств є досить низькою. Відсутність ресурсів на розвиток основних фондів спонукало підприємства оновлювати парк рухомого складу вживаними автомобілями. Такі автомобілі, хоч і більш ефективні за застарілий рухомий склад, але все ж таки істотно поступаються новим сучасним автомобілям. Шкода від старіння автопарку очевидна – середній вік машин прямо впливає не тільки на екологію, а й на безпеку руху: у нових моделей більш продумані з точки зору пасивної безпеки кузова і досконаліші електронні асистенти, та й подушок безпеки більше. За оцінками фахівців, український автопарк і далі продовжить старіти, тому що левова частка імпорту — це старі автомобілі віком 5-15 років, а частка нових автомобілів в структурі імпорту за 2023 рік склала всього 20,5% [1].

Життєвий цикл автомобіля складається з наступних фаз його життєдіяльності, що багаторазово повторюються, а саме: експлуатація, технічний огляд, ремонт. Цій повтор закінчується, коли автомобіль повністю вичерпав свій ресурс, після чого він списується. Спробуємо визначити ймовірності станів життєвого циклу автомобіля на основі розв'язання системи рівнянь Колмогорова, для цього розглянемо систему S – автомобіль, яка може знаходиться в одному з 5-ти можливих станів (рис. 1).



де: S_0 – автомобіль справний, експлуатується;

λ_{01} – перехід автомобіля зі справного стану в стан несправного;

λ_{02} – автомобіль направляється на щорічне технічне обслуговування;

S_1 – автомобіль несправний, очікує технічного огляду;

λ_{12} – перехід несправного автомобіля на технічний огляд;

S_2 – автомобіль проходить технічний огляд;

λ_{20} – автомобіль повертається в експлуатацію з щорічного технічного обслуговування;

λ_{23} – перехід автомобіля з технічного огляду на ремонт;

λ_{24} – автомобіль списується;

S_3 – автомобіль знаходиться на ремонті;

λ_{30} – автомобіль повертається в експлуатацію після ремонту;

S_4 – автомобіль списується;

λ_{40} – новий автомобіль надходить в експлуатацію (замість списаного).

Рисунок 1 – Розмічений граф станів

Інтенсивність потоків, що переводять автомобіль зі стану у стан, задані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Інтенсивності потоків переходу автомобіля зі стану у стан

Інтенсивності потоків (авто/рік)							
λ_{01}	λ_{02}	λ_{12}	λ_{20}	λ_{23}	λ_{24}	λ_{30}	λ_{40}
2	40	2	36	5	1	5	1

Для визначення імовірності перебування системи у відповідному стані в момент часу *t* необхідно розв'язати систему рівнянь Колмогорова [2]:

$$p_i(t) = \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ji} \times p_j(t) - \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij} \times p_i(t), \quad i = 0,2,3,\ldots,n. \tag{1}$$

де $p_i(t)$, $p_j(t)$ – імовірності перебування системи у *i*-ому або *j*-ому станах;
λ_{ij} – інтенсивність переходу системи з *i*-ого в *j*-й стан;
n – кількість станів.

Напишемо виходячи з графу станів систему рівнянь Колмогорова в загальному вигляді:

$$\begin{cases} p_0(t) = \lambda_{20} \times p_2(t) + \lambda_{30} \times p_3(t) + \lambda_{40} \times p_4(t) - (\lambda_{01} + \lambda_{02}) \times p_0(t) \\ p_1(t) = \lambda_{01} \times p_0(t) - \lambda_{12} \times p_1(t) \\ p_2(t) = \lambda_{02} \times p_0(t) + \lambda_{12} \times p_1(t) - (\lambda_{20} + \lambda_{23} + \lambda_{24}) \times p_2(t) \\ p_3(t) = \lambda_{23} \times p_2(t) - \lambda_{30} \times p_3(t) \\ p_4(t) = \lambda_{24} \times p_2(t) - \lambda_{40} \times p_4(t) \end{cases} \tag{2}$$

Додаємо до системи формулу $\sum_{i=1}^{n} P_i(t) = 1,$ з конкретними значеннями ймовірностей, а саме:

$$p_0(t) + p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) + p_4(t) = 1. \tag{3}$$

Замість інтенсивності потоків λ_{ij} напишемо їх конкретні значення (з табл. 1), прибравши з рівнянь змінну часу *t*, і отримаємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} p_0 = 36 \times p_2 + 5 \times p_3 + 1 \times p_4 - (2 + 40) \times p_0 \rightarrow p_0 = 36 \times p_2 + 5 \times p_3 + 1 \times p_4 - 42 \times p_0 \\ p_1 = 2 \times p_0 - 2 \times p_1 \\ p_2 = 40 \times p_0 + 2 \times p_1 - (36 + 5 + 1) \times p_2 \rightarrow p_2 = 40 \times p_0 + 2 \times p_1 - 42 \times p_2 \\ p_3 = 5 \times p_2 - 5 \times p_3 \rightarrow p_3 = 5 \times p_2 - 5 \times p_3 \\ p_4 = 1 \times p_2 - 1 \times p_4 \\ p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1 \end{cases} \tag{4}$$

Щоб знайти ймовірності станів системи, відкинемо перше рівняння для досягнення незалежності системи рівнянь та перекинимо змінні у перших чотирьох рівняннях у їх праву частину. В результаті отримуємо наступну систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} 2 \times p_0 - 3 \times p_1 = 0 \\ 40 \times p_0 + 2 \times p_1 - 43 \times p_2 = 0 \\ 5 \times p_2 - 6 \times p_3 = 0 \\ 1 \times p_2 - 2 \times p_4 = 0 \\ p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1 \end{cases} \tag{5}$$

Вирішимо систему лінійних алгебраїчних рівнянь матричним методом. Для цього складемо на основі системи лінійних алгебраїчних рівнянь (5) матрицю ймовірностей наступним чином:

p_0	p_1	p_2	p_3	p_4		b
2	-3	0	0	0	=	0
40	2	-43	0	0	=	0
0	0	5	-6	0	=	0
0	0	1	0	-2	=	0
1	1	1	1	1	=	1

Визначимо з цієї матриці основний і додаткові визначники (розраховувати визначники матриці рекомендується у середовищі табличного процесора *Excel* за допомогою математичної функції МОПРЕД(Матриця)) [3]:

$\Delta =$

p_0	p_1	p_2	p_3	p_4
2	-3	0	0	0
40	2	-43	0	0
0	0	5	-6	0
0	0	1	0	-2
1	1	1	1	1

$= 6052$ $\Delta_0 =$

b	p_1	p_2	p_3	p_4
0	-3	0	0	0
0	2	-43	0	0
0	0	5	-6	0
0	0	1	0	-2
1	1	1	1	1

$= 1548$

$\Delta_1 =$

p_0	b	p_2	p_3	p_4
2	0	0	0	0
40	0	-43	0	0
0	0	5	-6	0
0	0	1	0	-2
1	1	1	1	1

$= 1032$ $\Delta_2 =$

p_0	p_1	b	p_3	p_4
2	-3	0	0	0
40	2	0	0	0
0	0	0	-6	0
0	0	0	0	-2
1	1	1	1	1

$= 1488$

$\Delta_3 =$

p_0	p_1	p_2	b	p_4
2	-3	0	0	0
40	2	-43	0	0
0	0	5	0	0
0	0	1	0	-2
1	1	1	1	1

$= 1240$ $\Delta_4 =$

p_0	p_1	p_2	p_3	b
2	-3	0	0	0
40	2	-43	0	0
0	0	5	-6	0
0	0	1	0	0
1	1	1	1	1

$= 744$

Отже, $p_0 = \Delta_0/\Delta = 1548/6052 = 0{,}256;$
$p_1 = \Delta_1/\Delta = 1032/6052 = 0{,}171;$
$p_2 = \Delta_2/\Delta = 1488/6052 = 0{,}246;$
$p_3 = \Delta_3/\Delta = 1240/6052 = 0{,}205;$
$p_4 = \Delta_4/\Delta = 744/6052 = 0{,}123.$

Слід зазначити, що для перевірки правильності отриманого результату потрібно скласти розраховані імовірності і отримати 1, а саме:

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 0{,}256 + 0{,}171 + 0{,}246 + 0{,}205 + 0{,}123 = 1{,}00.$$

На рисунку 2 представлені вищенаведені результаті, які отримані у середовищі табличного процесора *Excel* за допомогою математичної функції МОПРЕД(Матриця)) [3].

Запропонований підхід дозволяє більш ефективно організувати роботу автотранспортних підприємств, а саме його підрозділів, які відповідають за реалізацію окремих фаз (станів) життєвого циклу автотранспортних засобів на підприємстві, а саме відділу експлуатації (виробничого), відділу технічного огляду, відділу ремонту, відділу закупівлі і списання рухомого складу. Визначивши ймовірності станів кожного з підрозділів автотранспортного підприємства

можна більш раціонально (пропорційно) розподілити між ними наявні у підприємства матеріальні і людські ресурси [4].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1		p_0	p_1	p_2	p_3	p_4		**b**			**b**	p_1	p_2	p_3	p_4			p_0	**b**	p_2	p_3	p_4		$\Delta =$	6052
2		2	-3	0	0	0	=	0			0	-3	0	0	0			2	0	0	0	0		$\Delta_0 =$	1548
3		40	2	-43	0	0	=	0			0	2	-43	0	0			40	0	-43	0	0		$\Delta_1 =$	1032
4	$\Delta =$	0	0	5	-6	0	=	0		$\Delta_0 =$	0	0	5	-6	0		$\Delta_1 =$	0	0	5	-6	0		$\Delta_2 =$	1488
5		0	0	1	0	-2	=	0			0	0	1	0	-2			0	0	1	0	-2		$\Delta_3 =$	1240
6		1	1	1	1	1	=	1			1	1	1	1	1			1	1	1	1	1		$\Delta_4 =$	744
7																									**6052**
8		p_0	p_1	**b**	p_3	p_4					p_0	p_1	p_2	**b**	p_4			p_0	p_1	p_2	p_3	**b**		$p_0 =$	0,256
9		2	-3	0	0	0					2	-3	0	0	0			2	-3	0	0	0		$p_1 =$	0,171
10		40	2	0	0	0					40	2	-43	0	0			40	2	-43	0	0		$p_2 =$	0,246
11	$\Delta_2 =$	0	0	0	-6	0				$\Delta_3 =$	0	0	5	0	0		$\Delta_4 =$	0	0	5	-6	0		$p_3 =$	0,205
12		0	0	0	0	-2					0	0	1	0	-2			0	0	1	0	0		$p_4 =$	0,123
13		1	1	1	1	1					1	1	1	1	1			1	1	1	1	1			**1,00**

Рисунок 2 – Результаті, які отримані у середовищі табличного процесора *Excel*

Список використаних джерел

1. Дослідження: Український автопарк найстаріший в Європі, середній вік автомобілів в країні – 22,7 років, в ЄС – 10,8 років: Дата оновлення: 19.03.2025. URL: https://itc.ua/news/doslidzhennya-ukra%D1%97nskij-avtopark-najstarishij-v-evropi-serednij-vik-legkovih-avtomobiliv-v-kraini-227-rokiv-v-es-108-rokiv/ (дата звернення 12.09.2025).

2. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах : навчальний посібник для студентів напряму "Транспортні технології" вищих навчальних закладів; НТУ. – Київ : Слово, 2008. – 350 с.

3. Прокудін Г.С. Розв'язання мережевих транспортних задач у середовищі Excel / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, О.Г. Прокудін, І.О. Ремех, Т.Г. Хоботня // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки». Том 31 (70) № 5, 2020, С. 214-219.

4. Прокудін Г.С. Проблеми організації, управління та підвищення ефективності перевезень: стан, проблеми, перспективи розвитку: монографія за ред. Г.С. Прокудіна, Л.М. Савчук. – Дніпро: Пороги, 2021. – 300 с.

Прокудін Георгій Семенович – д.т.н., професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: p_g_s@ukr.net

Назарова Аліна Павлівна – Phd-аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: lyalyuska87@gmail.com

Прокудіна Ірина Іванівна – старший викладач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: pr_i_i@ukr.net

Prokudin Georgy S. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: p_g_s@ukr.net

Nazarova Alina P. – PhD student of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: lyalyuska87@gmail.com

Prokudina Iryna I. – Prokudina Iryna Ivanivna - Senior Lecturer of the Department of Information and Analytical Activities and Information Security, National Transport University, Kyiv, e-mail: pr_i_i@ukr.net, e-mail: pr_i_i@ukr.net

УДК 656.073

Г.С. Прокудін, А.Т. Салада, І.А. Мельников

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ТА ВЕЛИКОВАГОВИХ ВАНТАЖІВ

Розглянуто організацію та безпеку перевезення великогабаритних і великовагових вантажів автомобільним транспортом. Описано основні нормативні вимоги, порядок отримання дозволів, умови супроводу та правила маркування вантажів для забезпечення безпечного руху.

Ключові слова: *великогабаритні вантажі, великовагові перевезення, автомобільний транспорт, безпека, дозвіл, логістика, нормативні вимоги*

The article examines the organization and safety of transporting oversized and heavy loads by road. It outlines key regulatory requirements, the procedure for obtaining permits, escort conditions, and cargo marking rules to ensure safe transportation.

Keywords: *oversized loads, heavy haulage, road transport, safety, permits, logistics, regulations*

Вантажні перевезення автомобільним транспортом відіграють ключову роль та демонструють свої переваги в доставці своєю гнучкістю, швидкістю та ціною. Транспортні засоби рухаються за чітким маршрутом, логісти працюють за встановленими стандартами. Але виникають ситуації, коли стандартні методи перевезень не підходять. Великогабаритні та великовагові вантажі вимагають окремої уваги, дотримання важливих правил, ретельної підготовки та детально прорахованого маршруту. Нехтування правил може призвести до аварійної ситуації, додаткових витрат та затримання доставки вантажу. Через це логістам потрібно бути обізнаним і в перевезенні великовагових та великогабаритних вантажів, щоб в разі замовлення такого перевезення вміти його ефективно організувати.

Відповідно до ст. 1 Закону України «Про автомобільний транспорт» [1]:

– великоваговий транспортний засіб – транспортний засіб з вантажем або без вантажу, хоча б один з вагових параметрів якого перевищує встановлені на території України допустиму максимальну масу чи осьове навантаження;

– великогабаритний транспортний засіб – транспортний засіб з вантажем або без вантажу, хоча б один з габаритних параметрів якого перевищує встановлені на території України допустимі параметри.

Постановою Кабінету Міністрів України від 18.01.2001 за №30 [2], затверджено «Правила проїзду великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами», (надалі «ПРАВИЛА»).

Ці ПРАВИЛА встановлюють єдині вимоги до проїзду великогабаритних та великовагових транспортних засобів з вантажем або без нього автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами.

Транспортний засіб чи автопоїзд з вантажем або без вантажу вважається великогабаритним, чи великоваговим, якщо його габарити, чи вага перевищують хоча б один з параметрів, зазначених у пункті 22.5 Правил дорожнього руху, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306 [3].

Відповідно до пункту 5 ПРАВИЛ, вагові параметри транспортного засобу та їх составів загальною масою повинен бути до 40 тон включно або при перевезенні контейнеровозом до 46 тон включно [2].

Згідно з Правилами дорожнього руху розділу про перевезення вантажів пункту 22.5, габаритні параметри транспортного засобу повинні бути: ширина – до 2,5 метра; довжина – до 16,5 метра (18,75 метра з тягачем); висота від поверхні дороги – до 4 метра [3].

Рух транспортних засобів та їх составів у разі, коли хоча б один з їх габаритних та/або вагових параметрів перевищує нормативи, визначені цим пунктом, здійснюється відповідно до Правил проїзду великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами, затверджених постановою Кабінету Міністрів

України від 18 січня 2001 р. № 30 “Про проїзд великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами” (Офіційний вісник України, 2001 р., № 3, ст. 75) [2].

У період воєнного стану в Україні та протягом трьох місяців з дня його припинення або скасування вимоги абзаців першого та другого цього пункту не поширюються на транспортні засоби, які здійснюють перевезення вантажів з метою їх використання для забезпечення обороноздатності держави за рішенням військового командування, в інтересах якого здійснюється таке перевезення, а також вимоги підпунктів “б” та “в” абзацу першого цього пункту не поширюються на транспортні засоби спеціалізованого та/або спеціального призначення, які виконують функції ремонту залізничних колій (комплекси зварювальні мобільні марки КСМ-005).

Відповідно до пункту 4 ПРАВИЛ, рух великовагових та великогабаритних транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами здійснюється на підставі дозволу на участь у дорожньому русі транспортних засобів, вагові або габаритні параметри яких перевищують нормативні (далі – ДОЗВІЛ), виданим перевізникові уповноваженим підрозділом Національної поліції за формою, наведеною в додатку до цих ПРАВИЛ, або документа про внесення плати за проїзд таких транспортних засобів [2].

Видача (відмова у видачі, оформлення, переоформлення, анулювання) ДОЗВОЛУ здійснюється відповідно до Закону України “Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності” через центри надання адміністративних послуг або за наявності технічної можливості безпосередньо через Єдиний державний веб-портал електронних послуг, зокрема через інтегровані з ним інформаційні системи державних органів та органів місцевого самоврядування [4].

ДОЗВІЛ оформлюється уповноваженим підрозділом Національної поліції на підставі погоджувальних документів з власниками вулично-дорожньої мережі, залізничних переїздів, мостового господарства, служб міського електротранспорту, електромереж, електрифікації, електрозв’язку, в яких визначаються умови і режим проїзду зазначених транспортних засобів.

Допускається перевищення вагових параметрів порівняно з визначеними у пункті 22.5 Правил дорожнього руху на 2 відсотки (величина похибки) без оформлення відповідного дозволу та внесення плати за проїзд.

Законом України «Про автомобільний транспорт» (ч.6 ст.48), передбачено, що у разі перевезення вантажів з перевищенням габаритних або вагових обмежень обов'язковим документом також є ДОЗВІЛ, який дає право на рух автомобільними дорогами України, виданий компетентними уповноваженими органами, або документ про внесення плати за проїзд великовагових (великогабаритних) транспортних засобів, якщо перевищення вагових або габаритних обмежень над визначеними законодавством становить менше п’яти відсотків.

ДОЗВІЛ видається на одноразовий проїзд великогабаритного та великовагового транспортного засобу. У разі здійснення постійних проїздів по одному маршруту тим самим транспортним засобом ДОЗВІЛ може видаватися на кілька проїздів, але не більше ніж на три місяці.

Погодження маршрутів відбувається відповідно до пунктів 9-13 ПРАВИЛ, відповідними уповноваженими органами.

Водії великогабаритних та великовагових транспортних засобів зобов'язані:

– дотримуватися визначеного маршруту;

– вживати необхідних заходів для безперешкодного та безпечного проїзду зустрічних транспортних засобів;

– періодично зупинятися у зручних місцях з метою надання можливості для обгону транспортними засобами, що рухаються позаду;

– не створювати перешкод для руху інших транспортних засобів.

Водіям великогабаритних та великовагових транспортних засобів забороняється:

– здійснювати обгін транспортних засобів, що рухаються з швидкістю 30 км/год і більше;

– буксирувати інші транспортні засоби;

– рухатися в умовах туману, ожеледиці, снігопаду та в інших умовах недостатньої видимості;

– рухатися узбіччям дороги;

– зупинятися поза спеціально визначеними стоянками за межами земляного полотна дороги.

Відповідно до ст.15 Закона України «Про дорожній рух», перевезення великовагових та великогабаритних вантажів дозволяється водіям які мають відповідні категорії (BE,C1E,CE), а також досягли віку не менше 19 років [5].

Великогабаритні та великовагові транспортні засоби повинні бути укомплектовані таким обладнанням:

– не менш як двома проти-відкотними упорами для додаткової фіксації коліс автомобіля-тягача та кожного з причепів у разі вимушеної зупинки;

– знаком "Об'їзд перешкоди з лівого боку" та знаком "Об'їзд перешкоди з правого боку" діаметром по 600 міліметрів кожний, виготовленими із світло-відбивного матеріалу відповідно до вимог стандартів;

– вісьмома конусами з горизонтальними світло-відбивними смугами білого та червоного кольору, розташованими почергово (висота конусів – 600 міліметрів, ширина білих та червоних смуг – 150 міліметрів);

– жорстким буксиром;

– миготливим ліхтарем червоного кольору або знаком аварійної зупинки;

– комплектом ланцюгів проти-ковзання (в період з 1 жовтня до 1 квітня);

– жилетом оранжевого кольору із світло-відбивними елементами;

– не менш як одним проблисковим маячком оранжевого кольору з автономним живленням.

На великогабаритному та великоваговому транспортному засобі встановлюється розпізнавальний знак обмеження швидкості руху (рис. 1 а). Вантаж, який виступає за габарити транспортного засобу попереду чи позаду більш як на 1 метр або з боків більш як на 0,4 метра від його переднього чи заднього габаритного ліхтаря, позначається сигнальними щитками "Негабаритний вантаж" (рис. 1 б) розміром 400 х 400 міліметрів з нанесеними на них по діагоналі почергово світло-відбивними смугами завширшки 50 міліметрів білого і червоного кольору, які встановлюються попереду та позаду вантажу, а також ліхтарями: попереду білого і позаду червоного кольору (не менше ніж по два), з боків оранжевого кольору (не менше ніж по чотири з кожного боку), які розміщуються на крайніх зовнішніх частинах негабаритного вантажу.



а)



б)

Рисунок 1 – а) Розпізнавальний знак обмеження швидкості руху;
б) Сигнальний щиток «Негабаритний вантаж»

Кріплення і розміщення негабаритного вантажу на транспортному засобі повинне бути надійним та відповідати таким вимогам:

– забезпечувати стійкість вантажу на транспортному засобі та його збереження;

– не порушувати стійкості транспортного засобу і не утруднювати керування ним;

– не обмежувати водієві оглядовість.

Необхідність супроводу великогабаритного та великовагового транспортного засобу спеціального призначення патрульним автомобілем Національної поліції чи автомобілем

прикриття визначається уповноваженим підрозділом Національної поліції під час видачі дозволу з урахуванням необхідності забезпечення безпечних умов дорожнього руху.

Супровід автомобілем прикриття обов'язковий у разі, коли ширина великогабаритного транспортного засобу спеціального призначення перевищує 3,5 чи довжина 24 метри.

Для отримання дозволу перевізник або уповноважена ним особа подає:

– заяву, в якій зазначається марка, модель, номерний знак, заплановані строки проїзду та кількість рейсів, маршрут руху, геометричні (висота, ширина, довжина) і вагові (загальна вага, осьові навантаження) параметри транспортних засобів, інформація про вантаж, найменування, адреса, номер телефону перевізника, власне ім'я та прізвище відповідальної за перевезення особи;

– копії погоджувальних документів з власниками вулично-дорожньої мережі, залізничних переїздів, мостового господарства, служб міського електротранспорту, електромереж, електрифікації, електрозв'язку щодо проїзду автотранспорту;

– документ, що підтверджує внесення плати за оформлення дозволу.

За оформлення дозволу справляється плата, розмір якої визначається законодавством у сфері надання адміністративних послуг [2]. Особам які здійснюють перевезення (водіям) та планування перевезення (логістам) слід пам'ятати що, перевезення такого роду вантажів само по собі є діянням пов'язаним з збільшенням ризику аварійності, а тому при здійсненні таких перевезень слід враховувати приписи чинного законодавства в сфері перевезення великогабаритних та великовагових вантажів. Порушення чи ігнорування встановлених приписів, може потягнути за собою накладення санкцій, а у гіршому випадку призвести до руйнувань, пошкодження майна чи заподіяння шкоди життю чи здоров'ю громадян.

Список використаних джерел

1. Закон України від 05.04.2001р. «Про автомобільний транспорт»: станом на 19 квітня 2025р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text (дата звернення: 15.09.2025).

2. Постанова Кабінету Міністрів України від 18 січня 2001р. № 30 «Про проїзд великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами»: станом на 01 травня 2024р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/30-2001-%D0%BF/print (дата звернення: 23.09.2025).

3. Постанова Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 №1306 «Про Правила дорожнього руху»: станом на 03 квітня 2025р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text (дата звернення: 23.09.2025).

4. Закон України від 06.09.2005р. «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності»: станом на 08 серпня 2025р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2806-15#Text (дата звернення: 5.10.2025).

5. Закон України від 30.06.1993р. «Про дорожній рух»: станом на 12 вересня 2025 URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text (дата звернення: 5.10.2025).

Прокудін Георгій Семенович **–** д.т.н., професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: p_g_s@ukr.net

Салада Анастасія Тарасівна – студентка 3 курсу спеціальності 275 - Транспортні технології (на автомобільному транспорті), Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: saladanasta@gmail.com

Мельников Ігор Андрійович – Phd-аспірант 2 курсу спеціальності 275 - Транспортні технології (на автомобільному транспорті), Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: imelya17@gmail.com

Prokudin Georgy S. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: p_g_s@ukr.net

Salada Anastasiia T. – student of the 3rd year of the specialty 275 - Transport technologies (on road transport), National Transport University, Kyiv, e-mail: saladanasta@gmail.com

Melnikov Igor A. – PhD-postgraduate student of the 2nd year of specialty 275 - Transport technologies (in road transport), National Transport University, Kyiv, e-mail: imelya17@gmail.com

УДК 629.33-585.862:621.789

І.Б. Прунько, Ф.В. Козак, Ю.О. Курилів

ВІДНОВЛЕННЯ ОСІ КОЛОДОК ЗАДНЬОГО ГАЛЬМА АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО НАРОЩУВАННЯ

Розглянуто доцільність застосування реставрації відповідальних деталей транспортних засобів методом електроіскрового легування. Запропоновано використовувати електроіскрове легування для відновлення розмірних параметрів автомобільних деталей, за умови їх зносу.

Ключові слова: *нафтогазовий технологічний транспорт, електроіскрове легування, зношування, розмірні параметри.*

The feasibility of using the restoration of critical vehicle parts using the electric spark alloying method has been considered. It has been proposed to use electric spark alloying to restore the dimensional parameters of automotive parts, subject to their wear.

Keywords: *oil and gas technological transport, electric spark alloying, wear, dimensional parameters.*

Вступ. Підприємства нафтогазового технологічного транспорту експлуатують різноманітну спецтехніку на шасі автомобілів. Характерною для даних підприємств є велика різноманітність використовуваних марок автомобілів, а також різний термін експлуатації зазначених автотранспортних засобів.

Багато автомобілів нафтогазових підприємств нашого регіону були випущені ще в 90-ті роки минулого століття. Деякі моделі уже зняті з виробництва, тому питання забезпечення запасними частинами для ремонту є актуальним. Ремонтні майстерні нафтогазового технологічного транспорту не завжди оснащені сучасним технологічним обладнанням та забезпечені кадрами відповідної кваліфікації. Актуальним є підбір технологічних процесів реставрації деталей в умовах цих майстерень з точки зору їх простоти, дешевизни та продуктивності.

Необхідно використовувати такі процеси реставрації автомобільних деталей, які б не вимагали високої кваліфікації ремонтних робітників, одночасно забезпечуючи високу якість виконаної роботи.

Актуальність досліджень. Однією з відповідальних деталей є вісь колодок заднього гальма. Хрестовини карданних валів виготовляють зі сталі 45 [1]. Їх піддають гартуванню і відпуску до твердості $HRC_э$ 50 – 62.

Згідно статистичних даних одним з основних осей є знос шийок під кронштейн осей колодок [1].

У технічній літературі пропонується вібродугова наплавка з наступним цинкуванням та фосфатуванням та наступною обробкою під номінальний розмір [1].

Даний методі має свої переваги та недоліки.

Так наплавка спричиняє нагрів деталі по всьому об’єму, що, в свою чергу, може спричинити негативні зміни структури матеріалу деталі. Крім того після наплавки необхідно проводити додаткову механічну та термічну обробку. Це призводить до здорожчання процесу відновлення.

Слід зазначити, що допустимий розмір під ремонт становить 28,87 мм, тобто не перевищує 0,7 Отже, пошук технології ефективного відновлення і зміцнення робочих поверхонь шийок залишається актуальним завданням.

Мета досліджень. Запропонувати спосіб відновлення і зміцнення зношених робочих поверхонь осі колодок заднього гальма, придатний для застосування в умовах авторемонтних майстерень підприємств нафтогазового технологічного транспорту.

Матеріали досліджень. Номінальні і ремонтні розміри циліндричних поверхонь осі колодок заднього гальма наведені в табл. 1.

Ми маємо справу з досить малими величинами допустимого зносу.

Для відновлення розмірних параметрів при такому зносі більш ніж придатним є метод електроіскрового нарощування і зміцнення (легування). Він забезпечує можливість отримувати тонкі нарощені шари, без нагріву великих об’ємів металу, що, в свою чергу дозволяє уникнути деформацій, та запобігає зміні мікроструктури основного матеріалу. Крім того даний спосіб відновлення є

екологічно чистим і не вимагає високої кваліфікації виконавців. Матеріали, які використовуються в процесі є доступними. Більш того, в якості електродів можуть використовуватись твердосплавні пластини з металорізального інструменту, який відпрацював свій ресурс і є в наявності в любій механічній майстерні.

Одержаний даним способом нарощений шар не потребує подальшої механічної обробки, що також сприяє здешевленню процесу.

Опис процесу. Процес електроіскрового нарощування заснований на використанні енергії електричного імпульсного розряду, що проходить між електродами і спричиняє направлену ерозію матеріалу, в основному анода [1 – 4]. За допомогою електроерозії досягаються два ефекти: змінюються розмірні параметри оброблюваних деталей і проходить одночасне легування їх оброблюваних поверхонь.

Використовуються електроди, виготовлені твердого сплаву Т15К6 і або ВК8. В якості електродів модна використовувати також інші струмопровідні матеріали, щоб забезпечити отримання зміцненої поверхні з наперед заданими властивостями.

Використане обладнання. Для відновлення поверхні шипа використали промислове устаткування "Элитрон – 24А" для електроіскрового легування [5] (див. рис. 1).

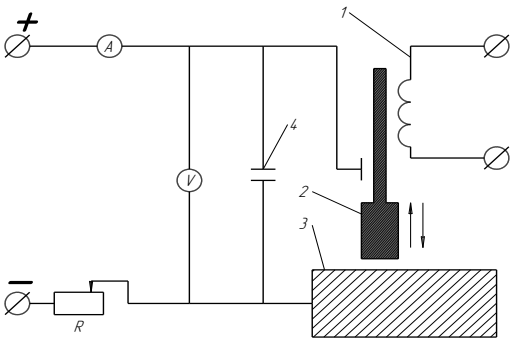


Рисунок 1 – Принципова схема електроіскрової установки "Элитрон -24А":
1 – вібратор; 2 – електрод (анод); 3 – деталь (катод); 4 – конденсаторна батарея.

Для отримання рівномірного покриву на шийці вісь закріпляли в кулачках, а вібратор – на супорті токарно-гвинторізного верстату. Для забезпечення високої продуктивності нанесення покриву користувалися наступними режимами роботи верстата: частота обертання шпинделя n = 0,75 с$^{-1}$, подача s = 0,455 мм/об.

Оскільки в процесі електроіскрового легування отримується досить тонкий нанесений шар, то для подальшого його вивчення і металографічного аналізу необхідно виготовляти косий шліф. Для травлення структури використали 3%-ний спиртовий розчин HNO_3 згідно [6]. Металографічний аналіз шліфів провели на оптичному мікроскопі Neofot 21. Мікротвердість (за ваги 20 гр) заміряли в 10…15 точках і визначали середнє значення.

Крім того нами замірялася шорсткість поверхонь шипа, оброблених електроіскровим нарощуванням з використанням приладу «Zutronik».

Результати досліджень. Типова структура нарощеного на поверхню шипа шару, отримана за використання як анод твердих сплавів ВК8 та Т15К6, показана на рис. 3. Товщина нарощеного шару на поверхні штока (світла смужка на рис. 2) становила 300 мкм. Цей шар практично не підлягає травленню, що свідчить про значну концентрацію в ньому елементів легування.



а *б*

Рисунок 2 – Типові мікроструктури зміцненого поверхневого шару шипа зі сталі 45, отримані за використання як анод твердих сплавів ВК8 (*а*) та Т15К6 (*б*) (х500).

Мікротвердість отриманого шару становила близько 10 ГПа.

Мікротвердість основного металу (сталь 45) безпосередньо під наплавленим шаром становила 1600…1900 МПа, що характерно для фериту як складової сталей з ферит-перлітною структурою [7, 8].

Середньоарифметичне відхилення профілю не перевищувало 20 мкм, що забезпечило високу якість оброблюваної поверхні (5 – 6 клас) [7, 8].

Висновки. На основі проведених досліджень структури нарощених шарів, отриманих за використання різних режимів електроіскрового оброблення, виявлено, що за використання електродів Т15К6 та ВК8 максимальна товщина шарів становила 300 мкм, їх мікротвердість близько 10 ГПа, одержали їх за енергії одиничного імпульсу 0,42 та 0,75 Дж та частоти вібрації інструменту 250±50 та 125±25 Гц відповідно. Саме ці режими обробки є найбільш оптимальними для відновлення зношених робочих поверхонь шипів хрестовин карданних валів.

Оскільки електроіскрова обробка не спричиняє нагріву значних об'ємів металу основної деталі, тому не виникають її деформації та зміна структури основного металу.

Наявність мікропор на зовнішній поверхні обробленої деталі сприяє кращому утриманню мастила, а відповідно покращує трибологічні властивості поверхні.

Враховуючи також простоту використаного для електроіскрової обробки обладнання, цей спосіб реставрації може бути рекомендований для застосування в авторемонтних майстернях.

Список використаних джерел

1. Kryshtopa, S., Kryshtopa, L., Bogatchuk, I., Prunko, I., Melnyk, V. (2017). Examining the effect of triboelectric phenomena on wear-friction properties of metal-polymeric frictional couples. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (5 (85)), 40–45. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.9161513.

2. Kryshtopa, S. I., Petryna, D. Yu., Bogatchuk, I. M., Prun'ko, I. B., Mel'nyk, V. M. (2017). Surface Hardening of 40KH Steel by Electric-Spark Alloying. Materials Science, 53 (3), 351–358. https://doi.org/10.1007/s11003-017-0082-y14.

3. Kryshtopa, S., Kozhevnykov, A., Panchuk, M., Kryshtopa, L. (2018). Influence of triboelectric processes on friction characteristics of brake units of technological transport. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 3, 87–93. https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-3/1015.

4. Kryshtopa, S. I., Prun'ko, I. B., Dolishnii, B. V., Panchuk, M. V., Bogatchuk, I. M., Mel'nyk, V. M. (2019). Regularities of Wear of Metal-Polymer Friction Couples Under the Influence of Tribocurrents. Materials Science, 55 (2), 193–200. https://doi.org/10.1007/s11003-019-00288-x16.

5. Hvozdets'kyi, V. M., Sirak, Ya. Ya., Zadorozhna, Kh. R., Dem'yanchuk, Ya. M. (2018). Influence of the Size of Drops and the Velocity of Flow on the Structure and Properties of Electric-Arc Coatings. Materials Science, 53 (5), 702–708. https://doi.org/10.1007/s11003-018-0126-y17.

6. Prysyazhnyuk, P., Ivanov, O., Matvienkiv, O., Marynenko, S., Korol, O., Koval, I. (2022). Impact and abrasion wear resistance of the hardfacings based on high-manganese steel reinforced with multicomponent carbides of Ti-Nb-Mo-V-C system. Procedia Structural Integrity, 36, 130–136. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.01418.

7. Rukanskis, M. (2019). Control of Metal Surface Mechanical and Tribological Characteristics Using Cost Effective Electro-Spark Deposition. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 55 (5), 607–619. https://doi.org/10.3103/s106837551905010719.

8. Bembenek, M., Kopei, V., Ropyak, L., Levchuk, K. (2023). Stressed State of Chrome Parts During Diamond Burnishing. Metallofizika I Noveishie Tekhnologii, 45 (2), 239–250. https://doi.org/10.15407/mfint.45.02.0239.

Прунько Ігор Богданович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет, м. Івано-Франківськ, e-mail: ihor.prunko@nung.edu.ua

Козак Федір Васильович – к.т.н., професор, професор кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет, м. Івано-Франківськ, e-mail: fedir.kozak@nung.edu.ua

Курилів Юрій Олегович – студент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, e-mail: yurakurik@gmail.com

Prunko Ihor B. – PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor, Department of Road Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University, Ivano-Frankivsk, e-mail: ihor.prunko@nung.edu.ua

Kozak Fedir V. – PhD (Eng.), Professor, Professor of the Department of Road Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University, Ivano-Frankivsk, e-mail: fedir.kozak@nung.edu.ua

Kuryliv Yuriy O. – student, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, e-mail: yurakurik@gmail.com

УДК 656.078

J. Ragulskienė, A. Pauliukas, P. Paškevičius, R. Maskeliūnas, V. Maskeliūnas, V. Kuzhel, L. Ragulskis

DYNAMICS OF CIRCULAR ELEMENT OF AGRICULTURAL TRANSPORTATION DEVICE WITH STIFF EXTERNAL CIRCLE

Dynamics of the circular element of agricultural transportation device with stiff external circle is investigated. The elastic structure in the status of plane stress is analyzed. On the internal circle elastic foundation of Winkler type in the tangential and normal directions is assumed. The first eigenmodes of the circular element of agricultural transportation device are obtained and investigated.

Keywords: *agricultural transportation device, circular structure, stiff external circle, eigenmodes of vibrations, dynamics.*

1. Introduction

Dynamics of the circular element of agricultural transportation device with stiff external circle is investigated. The elastic structure in the status of plane stress is analyzed. On the internal circle elastic foundation of Winkler type in the tangential and normal directions is assumed. The first eigenmodes of the circular element of agricultural transportation device are obtained and investigated.

The paper is based on the previous investigations of the authors in the field of dynamics and vibrations presented in [1] – [6]. This paper is a direct continuation of investigations presented in [6].

2. Model of the element of agricultural transportation device

Solution of the plane stress problem is performed. Finite element model is based on the Lagrange quadratic element having nine nodes.

Further r_1 denotes the internal radius of the circular element of agricultural transportation device and r_2 denotes the external radius of the circular element of agricultural transportation device.

The following values of the internal and external radiuses of the circular element of agricultural transportation device were assumed in the investigation:

$$r_1 = 0.2,\ r_2 = 0.4. \tag{1}$$

The parameters of the external row of elements are assumed to have the following values:

$$E = 6 \cdot 10^8,\ \nu = 0.3,\ h = 0.01,\ \rho = 785, \tag{2}$$

where E denotes the modulus of elasticity, ν denotes the Poisson's ratio, h denotes the thickness of the investigated structure and ρ denotes the density of the material of the investigated structure.

The parameters of elements not belonging to the external row of elements are assumed to have the following values:

$$E = 6 \cdot 10^7,\ \nu = 0.3,\ h = 0.01,\ \rho = 78.5. \tag{3}$$

Elastic foundation of Winkler type in the tangential and normal directions is assumed on the internal radius of the circular element of agricultural transportation device. Stiffness constants of the elastic foundation of Winkler type are denoted as k_n and k_t, where k_n denotes the stiffness of elastic foundation in the normal direction and k_t denotes the stiffness of elastic foundation in the tangential direction.

The parameters of the elastic foundation of Winkler type on the internal radius of the circular element of agricultural transportation device are assumed to have the following values:

$$k_n = 6 \cdot 10^{12},\ k_t = 6 \cdot 10^6. \tag{4}$$

3. Eigenmodes of the element of agricultural transportation device

The first eigenmode of vibrations of the element of agricultural transportation device is presented in Fig. 1. The second and third multiple eigenmodes of vibrations of the element of agricultural transportation device are presented in Fig. 2. The fourth and fifth multiple eigenmodes of vibrations of the element of agricultural transportation device are presented in Fig. 3. The sixth and seventh multiple eigenmodes of vibrations of the element of agricultural transportation device are presented in Fig. 4. The eighth and ninth multiple eigenmodes of vibrations of the element of agricultural transportation device are presented in Fig. 5.

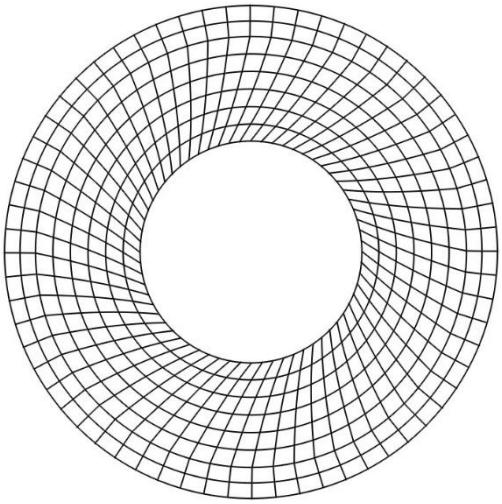
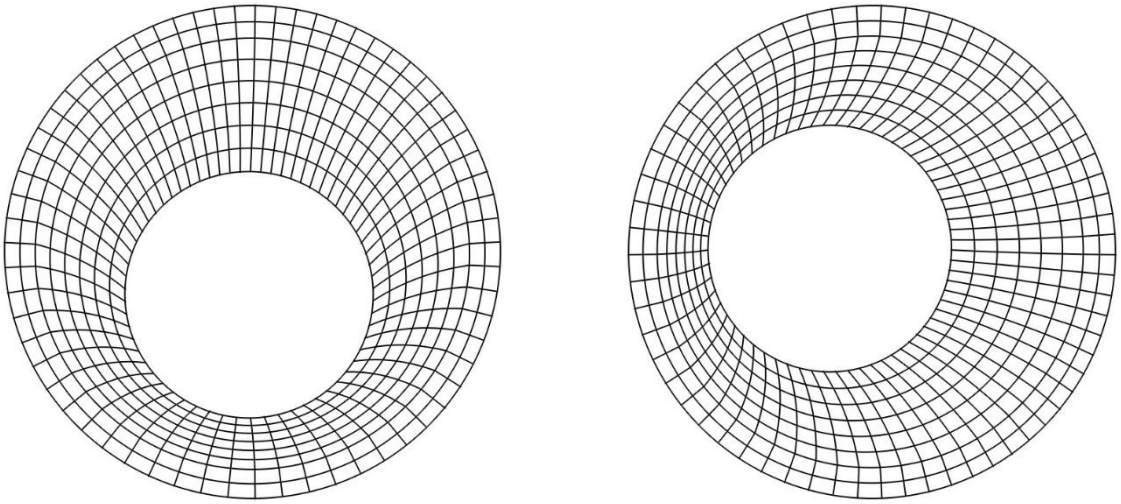
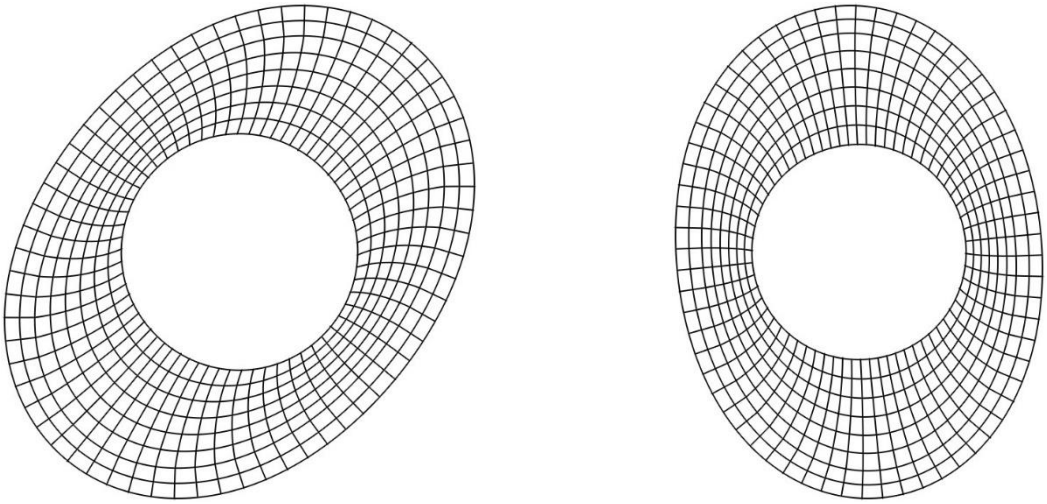


Figure 1 – The first eigenmode of the circular element of agricultural transportation device



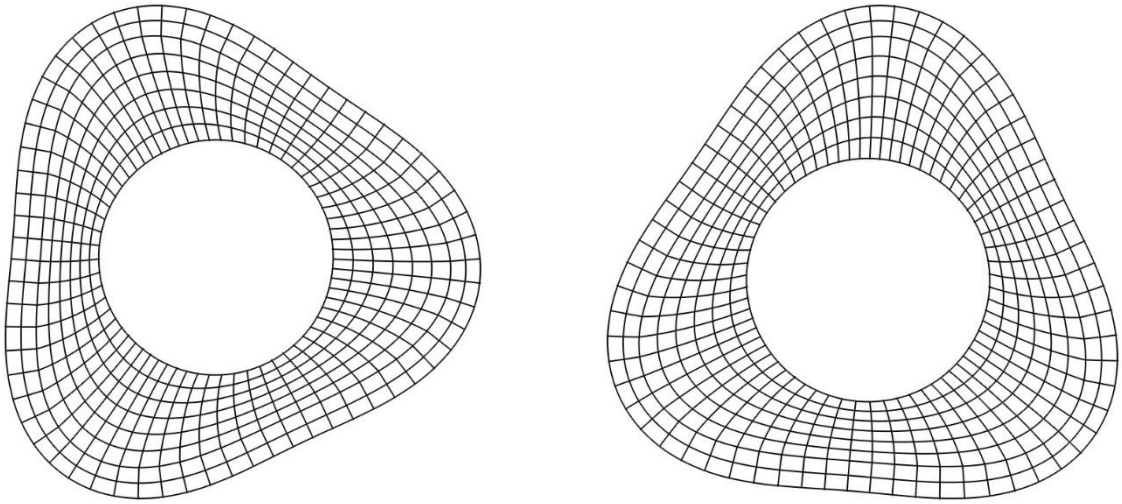
a) b)

Figure 2 – The second and third multiple eigenmodes of the circular element of agricultural transportation device



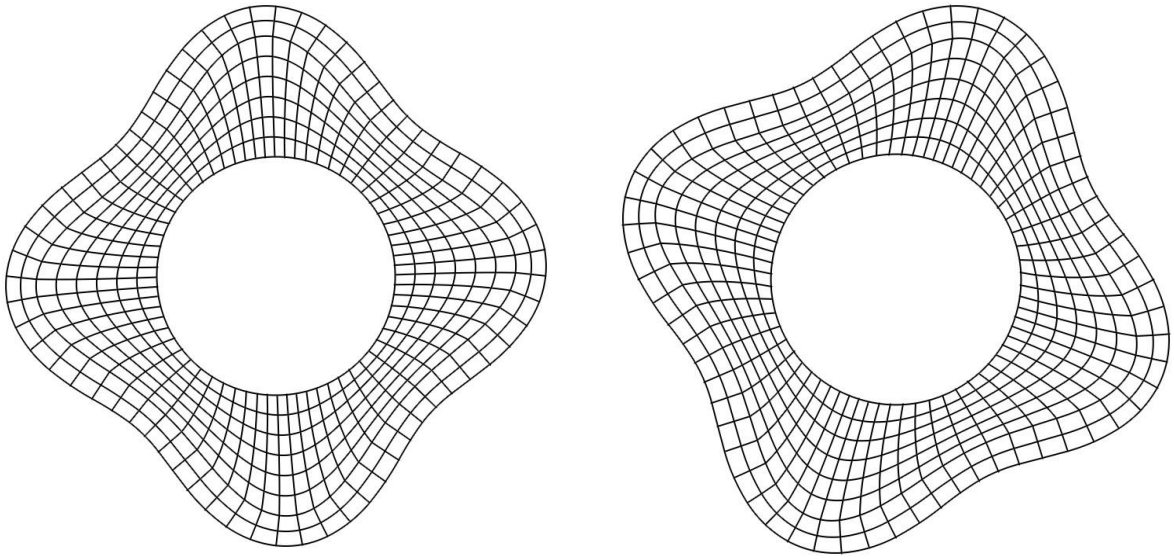
a) b)

Figure 3 – The fourth and fifth multiple eigenmodes of the circular element of agricultural transportation device



a) b)

Figure 4 – The sixth and seventh multiple eigenmodes of the circular element of agricultural transportation device



a) b)

Figure 5 – The eighth and ninth multiple eigenmodes of the circular element of agricultural transportation device

The obtained results are important for the design of elements of agricultural transportation devices.

4. Conclusions

Dynamics of the circular element of agricultural transportation device with stiff external circle is investigated. The elastic structure in the status of plane stress is analyzed. On the internal circle elastic foundation of Winkler type in the tangential and normal directions is assumed.

The first eigenmodes of the circular element of agricultural transportation device are obtained and investigated. The obtained results are important for the design of elements of agricultural transportation devices.

List of references

1. Ragulskis K., Pauliukas A., Paškevičius P., Maskeliūnas R., Maskeliūnas V., Kuzhel V., Ragulskis L. Investigation of reflection moire method for measurement of large amplitude vibrations of plate type structures. Materials of the XII International Scientific and Technical Internet – Conference "Problems and Prospects of Development of Automobile Transport", April 16 – 18, 2024, Vinnytsia, Vinnytsia National Technical University, 2024, p. 28-32.
2. Ragulskis K., Pauliukas A., Paškevičius P., Spruogis B., Matuliauskas A., Mištinas V., Ragulskis L., Kuzhel V. Procedure for reproducing the transportation trajectory. Materials of the XVI-th International Scientific and Practical Conference "Modern Technologies and Prospects of Development of Automobile Transport", October 23 – 25, 2023, Vinnytsia, Vinnytsia National Technical University, 2023, p. 25-28.
3. Ragulskis K., Pauliukas A., Paškevičius P., Spruogis B., Matuliauskas A., Mištinas V., Ragulskis L., Kuzhel V., Galushchak O. Investigation of dynamics of the pipe robot with impacts. Materials of the XIth International Scientific and Technical Internet – Conference "Problems and Prospects of Development of Automobile Transport", April 13 – 14, 2023, Vinnytsia, Vinnytsia National Technical University, 2023, p. 18-22.
4. Maskeliūnas R., Ragulskis K., Pauliukas A., Paškevičius P., Bubulis A., Kuzhel V., Ragulskis L. Investigation of measurement of large amplitude vibrations by using the method of reflection moire. Agricultural Engineering, Vol. 53, 2021, p. 1-7.
5. Maskeliūnas R., Ragulskis K., Pauliukas A., Paškevičius P., Bubulis A., Ragulskis L. Reflection moire for the measurement of large amplitude vibrations. Modern Technologies and Prospects of Development of Motor Transport, XII International Scientific Practical Conference, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2019, p. 116-118.
6. Ragulskienė J., Pauliukas A., Paškevičius P., Maskeliūnas R., Maskeliūnas V., Kuzhel V., Ragulskis L. Investigation of circular element of transportation device with Winkler foundation in the tangential and normal directions. Materials of the XIII-th International Scientific and Technical Internet – Conference "Problems and Prospects of Development of Automobile Transport", April 15 – 17, 2025, Vinnytsia, Vinnytsia National Technical University, 2025, p. 19-22.

Jūratė Ragulskienė – Doctor, Associate Professor, Department of Mathematical Modeling, Kaunas University of Technology, Kaunas, e-mail: jurate.ragulskiene@ktu.lt

Arvydas Pauliukas – Doctor, Lecturer, Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Vytautas Magnus University, Akademija, Kaunas District, e-mail: arvydas.pauliukas@vdu.lt

Petras Paškevičius – Doctor, Company "Vaivora", Kaunas, e-mail: info@vaivorairko.lt

Rimas Maskeliūnas – Habilitated Doctor, Professor, Department of Printing Machines, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, e-mail: rimas.maskeliunas@gmail.com

Vytautas Maskeliūnas – Bachelor, Graduate Student, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, e-mail: vytautas.maskeliunas@stud.vgtu.lt

Volodymyr Kuzhel – Doctor, Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kuzhel_v@vntu.edu.ua

Liutauras Ragulskis – Doctor, Junior research associate, Department of Systems Analysis, Vytautas Magnus University, Kaunas, e-mail: liutaurasragulskis@gmail.com

УДК 629.3.017

О.Ю. Ребров, О.Г. Петренко

ПОДВІЙНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ПОНИЖЕНИМ ТИСКОМ НА ГРУНТ ЯК В АГРАРНІЙ ТАК І ВІЙСЬКОВІЙ СФЕРІ

Розглянуто доцільність застосування шин з пониженим тиском на транспортних засобах подвійного призначення. Запропоновано технічні інновації у шинній галузі.

Ключові слова: *колісний трактор, ґрунт, понижений тиск, шина, подвійне призначення.*

The feasibility of using low-pressure tires on dual-purpose vehicles is examined. Technical innovations in the tire industry are proposed.

Keywords: *wheeled tractor; soil; low pressure; tire; dual-purpose vehicle*

В транспортних засобах подвійного призначення застосовуються шини з можливістю регулювання в них тиску для зниження при необхідності питомого тиску на ґрунт. До транспортних засобів подвійного призначення – це транспортні засоби, які можуть використовуватися як у цивільних, так і у військових цілях. Термін "подвійне призначення" визначений законодавством України, яке регулює обіг техніки яка може бути адаптована для військових потреб, зокрема для використання на аеродромах або проведення робіт по обладнанню оборонних позицій. До них належать різні типи транспортних засобів: автомобілі колісні трактори та ін.

Приклади транспортних засобів подвійного призначення:

– автомобілі, які можуть бути використані як у цивільних, так і у військових цілях, наприклад, вантажівки, що можуть перевозити як звичайні, так і військові вантажі.

– колісні трактори, які використовуються у аграрному секторі але можуть також бути задіяні у складі засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів (ЗАТЗП) авіації для утримання аеродромів в експлуатаційній готовності, як для цивільної так і для військової авіації.

– колісні трактори які використовуються у будівельному а дорожньому секторі але можуть бути використані для обладнання оборонних позицій.

Створення єдиної мережі укріплень відповідно до стратегії повинно забезпечуватись уніфікованими технічними засобами подвійного призначення.

В Повітряних Силах Збройних Сил України для забезпечення польотів повітряних суден використовується близько двадцяти зразків ЗАТЗП авіації, до числа яких входять спеціальні установки на базі колісних тракторів (теплова машина ТМ-59МГ на тракторі Т-155, комбінована очисна машина на тракторі Т-16МГ, шнекороторний очисник на тракторах ХТЗ – 150К-0,9, Т-16 МГ, техніка для догляду за запасними ґрунтовими посадочними смугами на тракторі ЮМЗ-6 МГ, та ін.), які укомплектовуються пневматичними шинами з малюнком протектора підвищеної прохідності [1].

Для попередження ущільнення ґрунту проводяться наступні заходи:

- скорочення кількості проїздів транспортних засобів;
- транспортні засоби забезпечують шинами низького тиску;
- використовують багатоосеві машини.

Виробники KUHN та Continental запустили кампанію «Усунення ущільнення ґрунту», щоб продемонструвати, як правильний вибір шин і підтримання тиску в шинах можуть допомогти мінімізувати ущільнення ґрунту [2].

У першому випробуванні техніки використовували знаряддя KUHN Optimer XL 5000, щоб показати, як зниження тиску майже наполовину, порівняно з рекомендованим питомим тиском на дорожнє покриття, знижує ущільнення ґрунту та підвищує ефективність роботи трактора та культиватора.

На стерні задні шини трактора Fendt 720 були налаштовані на 9 фунтів на квадратний дюйм, а передні – на 12 фунтів на квадратний дюйм.

Це менше половини того, з чим колісний трактор може працювати на дорожньому покритті, і це демонструє різницю, необхідну для роботи з правильним тиском для навантаження при використанні великих навісних знарядь.

Потім той же трактор працював за тиску 21 фунт на квадратний дюйм як на передніх, так

і задніх шинах.

Пробуксовування шин різко збільшилося зі збільшенням тиску – від менше 10% до більше 40%. Трактор “боровся за зчеплення” та залишав сліди зацепів на ґрунті. Більший відсоток від загальної ваги припадав на меншу площу поверхні, що дуже ущільнювало ґрунт.

Так, було визначено, що 39% витрат, пов’язаних з ущільненням, можна знизити, обравши правильні шини та машини з оптимальним тиском для навантаження.

Компанія Continental також розробила мобільний додаток, щоб допомогти операторам вибрати правильний тиск для будь-якого заданого навантаження.

Рекомендовано щоб по полю не їздили транспортні засоби з шинами, які призначені для руху по асфальту.

Подальші технічні інновації у шинній галузі

Компанія Mitas розробила систему AirCell (рис. 1) — резино-кордний ресивер, що монтується безпосередньо в шину на обід та займає близько 30% внутрішнього об'єму шини. Система дозволяє змінювати тиск у шині в межах 80–180 кПа за 12–40 секунд, що забезпечує високу оперативність адаптації до змін умов експлуатації. У поєднанні з радіальними шинами ця технологія виступає конкурентною альтернативою категоріям IF та VF [3].

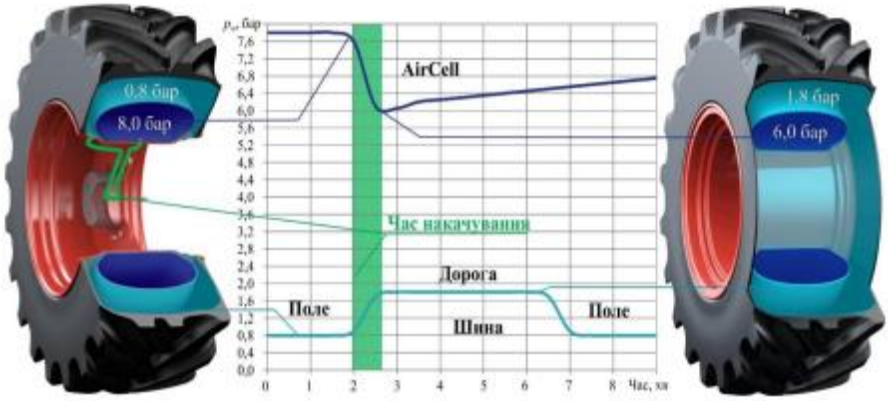


Рис. 1 Система AirCell від компанії **Mitas**

Раціональний підхід до вибору шин з урахуванням подвійного призначення транспортних засобів з пониженим тиском на ґрунт як в аграрній так і військовій сфері, за умов їх експлуатації та специфіки дозволить підвищити ефективність технологічних операцій.

Список використаних джерел

1. Леоненко О.М., Краснокутський В.М.. Проблемні питання щодо норм напрацювання пневматичних шин автомобільної та електрогазової техніки під час забезпечення польотів авіації «Актуальні проблеми діяльності складових сектору безпеки і оборони України (до 10-ої річниці створення Національної гвардії України)» всеукраїнська науково-практична конференція Національна академія Національної гвардії України 24 жовтня 2024 року м. Харків, ст. 387-389.

2. https://agrotimes.ua/tehnika/znyzhennya-tysku-v-shynah-zmenshuye-ushhilnennya-gruntu/

3. О.Ю. Ребров, О.Г. Петренко. Формування методів визначення раціональних типорозмірів шин для комплектування колісних тракторів. Новітні технології – для захисту повітряного простору XXI міжнародна наукова конференція Харківського Національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба 09 – 10 квітня 2025 року Харків 2025 ст. 461.

Ребров Олексій Юрійович – д.т.н., професор завідувач кафедри автомобіле- і тракторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». м. Харків, e-mail: oleksii.rebrov@khpi.edu.ua.

Петренко Олексій Геннадійович – аспірант кафедри автомобіле- і тракторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». м. Харків, e-mail: aleksej.petrenko88@gmail.com.

Rebrov Oleksii – Doctor of Technical Science, professor Kharkiv National Tehnical Univercity, Kharkiv, e-mail: oleksii.rebrov@khpi.edu.ua.

Petrenko Oleksii – postgraduate Kharkiv National Tehnical Univercity, Kharkiv e-mail: aleksej.petrenko88@gmail.com.

УДК 355.415

І.В. Рогозін, А.О. Родюков, Е.О. Луценко

ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИЛ ОБОРОНИ

Запропоновані зміни до схеми застосування сил логістики за смугами логістичного забезпечення з метою скорочення терміну постачання матеріально-технічних засобів до частин і підрозділів Збройних Сил України. Визначена можливість застосування автоматизованих засобів управління логістикою та організації контейнерних перевезень матеріально-технічних засобів до пунктів зустрічі.

Ключові слова: *перевезення матеріально-технічних засобів, логістика, логістичне забезпечення, матеріально-технічне забезпечення, транспортні засоби.*

Proposed changes to the framework for employing logistics forces within logistical support corridors aim to reduce the delivery lead time of materiel to units and subunits of the Armed Forces of Ukraine. The feasibility of using automated logistics management systems and organizing containerized transport of materiel to rendezvous points has been identified.

Keywords: *materiel transportation, logistics, logistical support, materiel support, vehicles.*

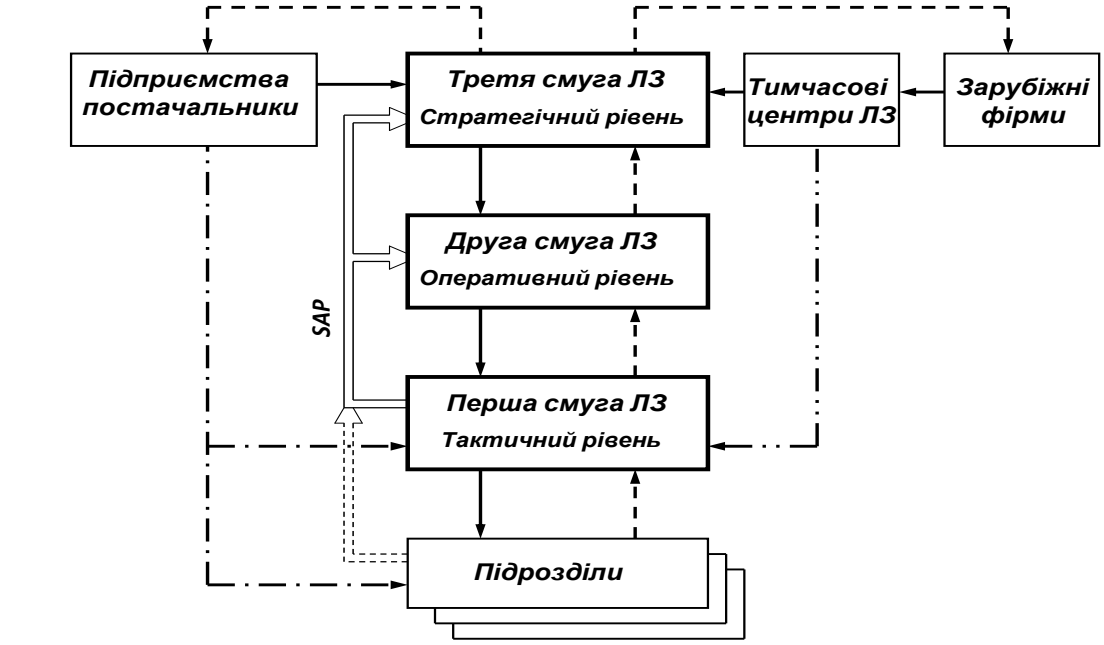
Система логістичного забезпечення Збройних Сил (ЗС) України постійно розвивається та направлена на сумісництво з стандартами НАТО [1]. Важливою складовою ланцюга логістичного забезпечення є перевезення матеріально-технічних засобів (МТЗ) військовим автомобільним транспортом. Відповідно до Доктрини застосування сил логістики ЗС України переміщення МТЗ відбувається послідовно, від третьої до другої, від другої до першої (підрозділ, військова частина) смуги логістичного забезпечення [2, 3]. Такий спосіб забезпечення МТЗ є послідовним і вимагає виконання низькі проміжних робіт з їх розвантаження (завантаження) та проведення додаткових облікових операцій.

З метою зменшення витрат часто використовується модель мінімальних запасів, яка може призвести до затримок постачання МТЗ у підрозділи в випадку порушення маршрутів постачання, ураження накопичених засобів на проміжних смугах або затримок постачання від союзників. У бойових умовах гостро постає вирішення питання логістики „останньої милі", яка вимагає застосування спеціалізованих захищених транспортних засобів, здатних до швидкого маневрування.

Аналіз джерел [1 – 8] вказує на те, що удосконаленню логістичних ланцюгів приділяється значна увага. У Сухопутних військах Збройних Сил України розпочато пілотний проект по впровадженню транспортної системи управління TMS (Transportation Management System), яка базується на SAP-рішеннях [4]. Система створена для автоматизації транспортних операцій від подачі заявки до доставки у підрозділи з метою скорочення витрат та підвищення ефективності використання транспортних засобів. Також при Міністерстві Оборони України створено робочу групу (Collegial Body on the Development of Logistics Support) до складу якої увійшли представники військових структур, наукових інститутів і громадськості для розробки пропозицій по залученню цивільних інституцій до логістичної підтримки ЗС України. Застосовуючи досвід операцій (АТО, ООС) та підходи НАТО у Національній гвардії України пропонують вдосконалення системи співпраці (Civil-Military Cooperation) для матеріально-технічного забезпечення військових формувань [5]. У дослідженнях також пропонуються моделі для надзвичайних ситуацій (contingency logistics) з метою співпраці цивільних і військових ресурсів за заздалегідь визначеними алгоритмами. Також підкреслюється необхідність створення рухомих ERP-систем (Enterprise Resource Planning system), мобільних центрів технічного обслуговування, складів та хабів, з метою швидкої зміни місць розташування та можливості здійснення перевезень в умовах порушень комунікацій [6, 7].

Враховуючи аналіз побудови сучасних логістичних ланцюгів в умовах збройної агресії Російської Федерації, авторами пропонується створення загальнодержавної логістичної платформи типу TMS/WMS/ERP. Такий підхід надає можливість відстеження доставки МТЗ у

реальному часі. Загальна структурна схема логістичного забезпечення (ЛЗ), що пропонується надано на рис. 1 [8].



Умовне позначення:
– постачання при ЛЗ;
– подання заявок, доповідей, звітів;
– децентралізоване постачання від вітчизняних постачальників;
– децентралізоване постачання від іноземних постачальників.

Рис. 1. Структурна схема логістичного забезпечення

В основі логістичної платформи передбачено застосування програмної системи типу ERP, що має підключення до бази даних МО України, державного оператора тилу (DOT), великих перевізників, портових та залізничних операторів, ключових постачальників тощо. Ця платформа з застосуванням програмного забезпечення типу WMS (Warehouse Management System) матиме можливість автоматизованого керування заявками споживачів, маршрутами перевезень, проміжними складами та фінансовими розрахунками тощо. Для забезпечення ефективного функціонування логістичної платформи доцільно створити в ключових регіонах мережу гібридних (цивільно-військових) логістичних хабів (PPP Logital Hubs), де цивільні оператори логістики працюють з військовими формуваннями у мирний час за контрактами, а у кризових умовах (під час військового стану) – переходять на особливий режим роботи.

Запропонована логістична платформа передбачає застосування 20-футових GP (General Purpose) та DC (Dry Container) контейнерів як базових одиниць логістичних ланцюгів. Кожний контейнер матиме свій RFID/QR-код або IoT-сенсори, що надаватимуть цифрові дані до програмного забезпечення типу TMS. Такий підхід зможе дозволити побудову динамічних логістичних ланцюгів з можливістю перевезення МТЗ не тільки до складу або хабу, а й до конкретного військового підрозділу. На останньому етапі логістичного ланцюга доставки до пункту зустрічі, пропонується застосовувати військові транспортні засоби з модульними системами швидкого навантаження (PLS, Multilift), що сумісні з контейнерами типу GP, DC, FR (Flat Rack), HH (Half-height) тощо, у тому числі, за потребою, малого розміру (10-футові та 8-футові) [9, 10].

Таким чином, запропоновані шляхи можуть підвищити ефективність застосування сил логістики за смугами логістичного забезпечення та скоротити терміни постачання матеріально-технічних засобів до частин і підрозділів ЗС України.

Список використаних джерел

1. Можаровський В.М. Російсько-українська війна: погляди, уроки, виклики. Наука і оборона. 2024. - № 2. – С. 11 – 21. https://doi.org/10.33099/2618-1614-2024-25-2-11-21.

2. Доктрина застосування сил логістики. ВНП 4-32(03).01; затверджена начальником Генерального штабу Збройних Сил України від 04.02.2021 р., Київ, 2021. 47 с.

3. Доктрина з організації переміщень та перевезень (транспортування) у Збройних Силах України. ВКП 4-00(03).01, затверджена начальником Генерального штабу Збройних Сил України від 19.08.2020 р., К., 2020. – 30 с.

4. Міноборони та Сухопутні війська Збройних Силах України впроваджують пілот з автоматизації транспортної логістики. *Міністерство оборони України* : web site. URL: https://mod.gov.ua/news/minoboroni-ta-suhoputni-vijska-zsu-vprovadzhuyut-pilot-z-avtomatizacziyi-transportnoyi-logistiki. (дата звернення: 06.10.2025).

5. Zinkovskyi S., Alboshchii O., Andronov V. Logistics of drinking water supply of military units and sub-units of the National Guard of Ukraine: status and directions of development. Честь і закон. 2025. № 2(93). С. 66 – 77. https://doi.org/10.33405/2078-7480/2025/2/93/339364.

6. Гурін О.М., Леках А.А., Старцев В.В., Гурін І.О., Романюк А.О. Пропозиції щодо удосконалення функціонування системи логістичного забезпечення угрупувань Повітряних Сил Збройних Сил України під час ведення бойових дій. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2022. № 2(72). С. 7 – 13. https://doi.org/10.30748/zhups.2022.72.01.

7. Гудімов В.В., Максименков Є.А. Транспортно-логістичне забезпечення Збройних Сил України, інших військових формувань під час бойових дій. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. 2022. № 24. С. 33 – 39. https://doi.org/10.15802/tstt2022/272057.

8. Родюков А.О., Рогозін І.В., Яценко К.Г. Пропозиції щодо удосконалення функціонування застосування логістичного забезпечення. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил* – Х., 2025. - № 2(84). - С. 17 - 22. https://doi.org/10.30748/zhups.2025.84.02.

9. DIN 30722-2. Roller contact tipper vehicles, roller containers - General requirements and marking - Part 2: Roller contact tipper vehicles up to 32 t, roller containers type 1570 made from steel. *Afnor EDITIONS* : web site. URL: https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/din-307222/roller-contact-tipper-vehicles-roller-containers-general-requirements-and-m/eu192017/448472 / (accessed 06.10.2025).

10. Стандартні контейнери під мультиліфт. *ТОВ "Виробник Металевих Контейнерів"* : web site. URL: https://www.abrollcontainer.com.ua/ua/katalog/kontejnery_pod_multilift/standartnye/ (accessed 06.10.2025).

Рогозін Ігор Віталійович – к.т.н., с.н.с., доцент кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: iv_r@ukr.net

Родюков Анатолій Олексійович – доцент кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: avtorao@ukr.net.

Луценко Едуард Олександрович – старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: luc_ed@ukr.net.

Rohozin Ihor V. – PhD (Eng.), Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: iv_r@ukr.net

Rodiukov Anatolii O. – Associate Professor of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: avtorao@ukr.net.

Lutsenko Eduard O. – senior teacher of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: luc_ed@ukr.net.

УДК 656.11:351.811

В.В. Рудзінський, С.В. Мельничук, Б.В. Ємець, О.П. Рябчук, І.С. Мельничук

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СВІТЛОФОРАМИ НА ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗКАХ МІСТ

Розглядається можливість використання адаптивних світлофорів, керованих штучним інтелектом, для регулювання дорожнього руху на проблематичних транспортних розв'язка міст. Як приклад, аналізується перехрестя проспекту Незалежності та вулиці Покровська м. Житомира. Наводиться попереднє дослідження перехрестя, вказуються основні проблеми даної розв'язки. Вивчаються основні етапи впровадження інтелектуальних систем для керування світлофорами.

Ключові слова: *Світлофорне керування, транспортні розв'язки міст, штучний інтелект.*

The possibility of using adaptive traffic lights controlled by artificial intelligence to regulate traffic at problematic urban intersections is considered. As an example, the intersection of Nezalezhnosti Avenue and Pokrovska Street in Zhytomyr is analyzed. A preliminary study of the intersection is presented, identifying the main problems of this junction. The main stages of implementing intelligent traffic light control systems are examined.

Keywords: *Traffic light control, urban intersections, artificial intelligence.*

У сучасних умовах стрімкої урбанізації та збільшення кількості транспортних засобів на дорогах особливої актуальності набуває проблема ефективного управління дорожнім рухом. Щодня у великих містах спостерігаються значні затори, перевитрата палива, запізнення громадського транспорту та зростання рівня шкідливих викидів у навколишнє середовище. Традиційні системи світлофорного регулювання, що працюють за фіксованими часовими циклами, не здатні швидко реагувати на зміни транспортної ситуації. Тому впровадження **штучного інтелекту (ШІ)** в управління світлофорами є одним із найефективніших напрямів розвитку інтелектуальних транспортних систем.

Сутність використання штучного інтелекту полягає у можливості створення систем, здатних самостійно аналізувати інформацію, навчатися та приймати рішення. У сфері дорожнього руху ШІ використовується для аналізу транспортних потоків, прогнозування заторів, розпізнавання пішоходів і транспортних засобів, а також для автоматичної оптимізації роботи світлофорів [1,2,3,4,5,6,10].

Інтелектуальні системи керування світлофорами об'єднують кілька технологічних напрямів:

- машинне навчання — для аналізу поведінки транспортних потоків і самонавчання системи;
- комп'ютерний зір — для розпізнавання автомобілів, пішоходів і велосипедистів;
- Інтернет речей (IoT) — для взаємозв'язку між світлофорами, датчиками, камерами та центральною базою даних;
- Big Data-аналітика — для накопичення та обробки великих масивів інформації, що дозволяє прогнозувати транспортні тенденції.

Слід зазначити, що принцип роботи інтелектуальної системи керування світлофорами на основі штучного інтелекту має своєю суттю принцип постійного збору та аналізу даних. Вона отримує інформацію з різних джерел: відеокамер, дорожніх датчиків, GPS-навігації автомобілів, мобільних застосунків і навіть даних метеослужб.

Основні етапи роботи системи:

- Збір даних. Система отримує інформацію про кількість автомобілів у черзі, швидкість руху, інтенсивність потоку в різних напрямках, наявність пішоходів чи громадського транспорту.
- Обробка даних. Алгоритми ШІ аналізують ситуацію в реальному часі, виявляють закономірності та прогнозують розвиток трафіку.
- Прийняття рішення. На основі аналізу система визначає оптимальну тривалість зеленого, жовтого та червоного сигналів для кожного напрямку руху.
- Самонавчання. Після кожного циклу система враховує ефективність прийнятих рішень, постійно вдосконалюючи свою логіку керування.

Завдяки цьому світлофори можуть працювати динамічно, тобто адаптуватися до змін дорожньої ситуації, забезпечуючи найефективніший рух транспорту.

Використання ШІ в системах світлофорного регулювання організації руху міського транспорту має низку важливих переваг:

- Зменшення заторів. Завдяки адаптивному регулюванню фази світлофорів змінюються в залежності від реальної інтенсивності руху, що скорочує черги на перехрестях.
- Підвищення пропускної здатності доріг. Розумне керування дозволяє ефективніше використовувати наявну транспортну інфраструктуру без необхідності дорогих реконструкцій.
- Зниження шкідливих викидів. Менше простоїв двигунів на світлофорах означає менше витрати палива та менше забруднення повітря.
- Покращення безпеки руху. Система може надавати пріоритет швидким службам (швидка, пожежна, поліція) або враховувати появу пішоходів.
- Інтеграція з громадським транспортом. ШІ може забезпечувати пріоритет автобусам і трамваям, зменшуючи їх затримки.
- Гнучкість та самонавчання. На відміну від звичайних таймерів, інтелектуальні системи здатні самостійно вдосконалюватися на основі накопиченого досвіду.

Світовий досвід вже має приклади впровадження інтелектуальних систем [2,3,10]. Розумні системи керування світлофорами вже активно впроваджуються у багатьох країнах:

- Сінгапур використовує систему SCOOT, яка аналізує транспортні потоки в режимі реального часу та автоматично змінює сигнали світлофорів.
- У Китаї (місто Ханчжоу) проєкт Alibaba City Brain керує транспортом за допомогою штучного інтелекту, зменшуючи час у заторах до 15–20%.
- У Лондоні працює адаптивна система SCATS, що регулює понад 3000 світлофорів, забезпечуючи плавний рух навіть у години пік.
- В Україні впровадження інтелектуальних транспортних систем розпочато у Києві, Львові та Харкові, де використовуються пілотні моделі адаптивного керування світлофорами.

На кафедрі автомобільного транспорту Житомирського агротехнічного фахового коледжу розглядається проект інтелектуального регулювання світлофорами на вуличній розв'язці вулиця Покровська – проспект Незалежності (рис. 1).



Рис. 1. Перехрестя вулиця Покровська (траса М21) – проспект Незалежгості

Дана транспортна роз'язка харакиерна рядом важливих особливостей та проблем.

По-перше, вулуця Покровська (траса М21) є північними воротами м. Житомира. По ній до міста входять транспортні потоки з Коростенського напряму (траса М21 – автомобільний шлях міжнародного значення на території України, Виступовичі – Житомир – Могилів-Подільський – кордон із Молдовою) та з'їзду з міжнародної траси Е40. Також значною долею трафіку є транспортні засоби мешканців великого Крошенського спального массиву, громадський та обслуговуючий даний район транспорт.

Вулиця Покровська побудована чотирисмуговою – по дві смуги в кожному напряму. Перед перехрестям з проспектом Незалежності з'являється коротка (до 50 м) третя смуга, по якій організовано рух ліворуч. Але при цьому потік транспортних засобів, що хочуть повертати

ліворуч, починає формувати ще задовго на двосмуговій частині вулиці даного напряму, що фактично блокує її для руху прямо.

Слід відмітити ще й зупинки громадського транспорту передбачені на першій смузі руху, що примушує потік транспортних засобів, що рухається першою смугою, зупинятися за ним на час висадки та посадки.

Ця особливість створює велику проблему дорожнього руху по вулиці Покровській з крошенського напряму до проспекту Незалежності. За попередніми дослідженнями, технічна швидкість на цій ділянці в години «пік» знаходиться в межах 5-7 км/год, що призводить до частих заторів. Також це є суттєвою екологічною проблемою.

Це лише попередній аналіз одного з під'їздів до перехрестя вулиця Покровська – проспект Незалежності. Для впровадження ШІ у систему керування світлофорами необхідно провести аналіз всіх напрямів з визначенням проблем (затори, затримки, нерівномірність трафіку протягом доби, тижня тощо) та дослідити існуючу систему керування світлофорами.

Паралельно з аналізом особливостей та проблем даної транспортної розв'язки необхідно проводити збір і обробку даних у реальному часі (кількість авто, пішоходів, погодні умови тощо) та формування бази даних для навчання моделей ШІ. Для збору даних можна використовувати встановлення сенсорів, камер, детекторів транспорту, GPS-трекерів.

Ключовим у створенні системи інтелектуального керування світлофорами є розробка та навчання моделі штучного інтелекту [2,4,5,7,8,9,11]. Цей етап полягає у створенні та налаштуванні алгоритму, який може аналізувати дорожні умови, прогнозувати транспортні потоки й оптимізувати режими роботи світлофорів у режимі реального часу. Процес включає кілька важливих складових:

1. Вибір підходу до моделювання (вибір типу алгоритму), що залежить від складності транспортної системи, обсягу даних і поставлених завдань:

- машинне навчання (Machine Learning) – використовуються класичні алгоритми, такі як регресія, дерева рішень, метод опорних векторів (SVM) тощо;
- глибинне навчання (Deep Learning), що базується на багатошарових нейронних мережах (DNN, CNN, RNN) і дає змогу аналізувати відеопотоки з камер, визначати транспортні засоби, класифікувати ситуації на дорозі, виявляти пішоходів і прогнозувати рух потоків із високою точністю.
- підкріплене навчання (Reinforcement Learning, RL) – один з найефективніших методів у керуванні світлофорами. Алгоритм (агент) “вчиться” шляхом проб і помилок, отримуючи нагороди (reward) за кожне ефективне рішення – наприклад, коли зменшився час очікування авто або утворився рівномірний потік. Найпоширеніші алгоритми: Q-Learning, Deep Q-Network (DQN), Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL).
- гібридні підходи: Поєднують переваги кількох методів, наприклад, RL для оптимізації фаз світлофорів + CNN для аналізу зображень з камер.

2. Навчання моделі на історичних даних. На цьому етапі збираються архівні дані про інтенсивність руху, затримки, цикли світлофорів, погодні умови, аварії, на основі яких модель навчається розпізнавати закономірності.

3. Оптимізація фаз світлофорів на основі симуляцій

Після навчання модель тестується в середовищах моделювання транспортних потоків, таких як SUMO (Simulation of Urban Mobility), VISSIM, Aimsun.

Після завершення цього етапу отримується навчена, оптимізована модель ШІ, здатна:

- приймати рішення про зміну фаз світлофора в реальному часі;
- передбачати майбутній стан дорожнього руху;
- адаптуватися до нестандартних ситуацій (наприклад, аварій чи раптового збільшення потоку).

Висновки.

1. Використання штучного інтелекту для керування світлофорами на транспортних розв’язках є надзвичайно перспективним напрямом розвитку міської інфраструктури.

2. Реалізація представленого проекту передбачає підвищити ефективність дорожнього руху, скоротити затори, зменшити шкідливі викиди та підвищити безпеку учасників руху.

Список використаних джерел

1. Peng J., Huang H., Chen L. An adaptive traffic signal control in a connected vehicle environment: a systematic review // Information. – 2017.

2. A review of the self-adaptive traffic signal control system based on future traffic environment // Journal of Advanced Transportation. – 2018.

3. Stevanovic A., Adaptive traffic control systems: Domestic and foreign state of practice, NCHRP Synthesis 403, 2010, Transportation Research Board, Washington

4. Gartner N. H., OPAC: A demand-responsive strategy for traffic signal control, Transportation Research Record. (1983) 1983, no. 906, 75–81

5. Mirchandani P. and Head L., A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms, and analysis, Transportation Research Part C: Emerging Technologies. (2001) 9, no. 6, 415–432

6. Papageorgiou M., Ben-Akiva M., Bottom J., Bovy P., Hoogendoorn S., Hounsell N., Kotsialos A., McDonald M. Chapter 11 ITS and Traffic Management, Transportation, 2007, 14, Elsevier, 715–774.

7. Manolis D., Papamichail I., Kosmatopoulos E. B., and Papageorgiou M., Automated tuning of ITS management and control systems: Results from real-life experiments, Transportation Research Part C: Emerging Technologies. (2016) 66, 119–135

8. Krish Saurabh Mehta, Kush Nihar Raj, Keyur Nayankumar Brahmbhatt. Machine learning solutions for adaptive traffic signal control: A review of imagebased approaches. World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences, 2024, 13(01), 476–481

9. Kuldeep Nautiyal a, Durgaprasad Gangodkar b, Manoj Diwakar. Analysis on Advancements in Adaptive Traffic Lights System. Procedia Computer Science. Volume 258, 2025, Pages 2767-2776

10.Jianfeng Zhang, Xian-Sheng Hua, Jianqiang Huang, Xu Shen, Jingyuan Chen, Qin Zhou, Zhihang Fu, Yiru Zhao. City Brain: practice of large-scale artificial intelligence in the urban context // IET Smart CitiesVolume 1, Issue 1Jun 2019, Pages1-37.

11.Panagiotis Michailidis, Iakovos Michailidis, Charalampos Rafail Lazaridis, Elias Kosmatopoulos. Traffic Signal Control via Reinforcement Learning: A Review on Applications and Innovations // Infrastructures 2025, 10(5), 114.

Рудзінський Володимир Васильович – д.т.н., професор, викладач кафедри автомобільного транспорту Житомирського агротехнічного фахового коледжу, e-mail: v.rudzinskii5@gmail.com

Мельничук Сергій Володимирович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри автомобільного транспорту Житомирського агротехнічного фахового коледжу, e-mail: sergij.m@ukr.net

Ємець Богдан Володимирович – к.т.н., викладач кафедри автомобільного транспорту Житомирського агротехнічного фахового коледжу, e-mail: bogdan1199@ukr.net

Рябчук Олександр Павлович – к.с-г.н, завідувач кафедри загально технічних дисциплін Житомирського агротехнічного фахового коледжу, e-mail: nostradamus1969@ukr.net

Мельничук Іван Сергійович – студент Житомирського агротехнічного фахового коледжу за напрямом Комп'ютерні науки, e-mail: melnychukivan14@gmail.com.

Rudzinsky Volodymyr Vasyliovych – D.Eng, Professor, lecturer of the Automobile Transport Department of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, e-mail: vladimirrudzinskiy@bigmir.net

Melnychuk Serhii Volodymyrovych – PhD, Associate Professor, head of the Automobile Transport Department of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, e-mail: sergij.m@ukr.net

Yemets Bohdan Volodymyrovych – PhD, lecturer of the Automobile Transport Department of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, e-mail: bogdan1199@ukr.net

Ryabchuk Oleksandr Pavlovich – PhD, head of the General Technical Disciplines Departments of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, of Agricultural Sciences,e-mail: nostradamus1969@ukr.net

Melnychuk Ivan Serhiyovych – student of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, majoring in Computer Science, e-mail: melnychukivan14@gmail.com

УДК 629.331:621.98

О.О. Сасов, К.Д. Хамбіков

ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (3D-ДРУКУ) У ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЯ

У роботі розглянуто застосування адитивних технологій (3D-друку) в автомобілебудуванні. Проаналізовано напрями використання, переваги, обмеження та практичне значення технології для сучасного виробництва.

Ключові слова: *адитивні технології, 3D-друк, автомобілебудування, прототипування, виробництво деталей, економія матеріалів.*

The paper examines the use of additive manufacturing (3D printing) in the automotive industry. Key applications, advantages, limitations, and practical significance for modern production are analyzed.

Keywords: *additive manufacturing, 3D printing, automotive industry, prototyping, parts production, saving materials.*

Автомобільна промисловість перебуває у постійному пошуку нових технологічних рішень, які забезпечують підвищення ефективності виробництва, зниження витрат та покращення експлуатаційних характеристик автомобілів. Однією з таких інноваційних технологій є адитивне виробництво (3D-друк), що ґрунтується на пошаровому створенні деталей з різноманітних матеріалів. Вона відкриває широкі можливості для гнучкого виробництва, виготовлення прототипів та навіть кінцевих компонентів транспортних засобів.

Сучасний етап розвитку автомобілебудування характеризується високим рівнем конкуренції та постійною потребою у зниженні собівартості продукції при одночасному підвищенні її якості та надійності. Традиційні методи виготовлення деталей мають обмеження щодо складності форм, часу виготовлення та витрат матеріалів. Адитивні технології, зокрема 3D-друк, дозволяють вирішувати ці проблеми, забезпечуючи можливість швидкого прототипування, виробництва індивідуалізованих деталей і створення конструкцій з оптимізованою масою та міцністю [1]. Це робить дослідження використання 3D-друку в автомобільній промисловості особливо актуальним.

Основними напрямами застосування 3D-друку в автомобілебудуванні є:

1. Створення прототипів. Традиційні методи виготовлення дослідних зразків є дорогими та тривалими. Використання 3D-друку дозволяє знизити час розробки прототипу з декількох тижнів до кількох днів. За даними досліджень компанії Ford, впровадження 3D-друку дозволило скоротити час створення дослідних деталей на 30–40 %, а витрати — до 70 % [2].

2. Виготовлення інструментів та оснащення. Виробничі підприємства активно застосовують 3D-друк для створення допоміжних елементів: пристосувань для складання, кондукторів та шаблонів. Таке рішення знижує витрати на виробництво оснащення у середньому на 50 % та робить можливим виготовлення унікальних інструментів під конкретні технологічні процеси.

3. Серійне виготовлення деталей. Останні роки демонструють перехід від використання 3D-друку лише для прототипів до виробництва кінцевих елементів автомобіля. Так, концерн BMW виготовляє за допомогою адитивних технологій понад 300 000 деталей на рік, серед яких — кронштейни, елементи інтер’єру та корпуси електронних модулів [3].

4. Ремонт та відновлення деталей. Завдяки 3D-друку можливо швидко виготовити деталі, що вийшли з виробництва або мають обмежений попит. Це особливо актуально для класичних та рідкісних моделей автомобілів. Крім того, технологія дозволяє наносити відновлювальні шари на зношені деталі, продовжуючи їхній ресурс [1].

До переваг використання адитивних технологій можна віднести:

1. Скорочення термінів розробки та запуску у виробництво;

2. Економія матеріалів (на 20–30 % у порівнянні з традиційною обробкою) [4];

3. Гнучкість конструкційних рішень: можливість створення складної геометрії, яка недоступна традиційними методами;

4. Зниження маси деталей за рахунок оптимізації внутрішньої структури.

5. Персоналізація продукції — можливість виготовлення індивідуальних елементів інтер'єру автомобіля.

Попри значний потенціал, застосування 3D-друку в автомобілебудуванні має низку проблем:

1. Висока вартість обладнання та матеріалів (особливо металевих порошків).
2. Обмежена продуктивність у порівнянні з класичними методами масового виробництва.
3. Необхідність стандартизації та сертифікації 3D-надрукованих деталей для використання у серійному виробництві.
4. Механічні властивості деталей з полімерів чи композитів іноді поступаються традиційним аналогам.

Використання адитивних технологій у сучасному автомобілебудуванні дозволяє підприємствам:

- скоротити цикл розробки нових моделей автомобілів;
- оптимізувати конструкцію деталей за масою та міцністю;
- знизити витрати на зберігання запасних частин за рахунок їх «цифрового складу»;
- підвищити конкурентоспроможність продукції за рахунок інноваційності.

Адитивні технології (3D-друк) є перспективним напрямом розвитку автомобільної промисловості, що дозволяє значно знизити витрати, скоротити час розробки і забезпечити високу гнучкість виробництва. Попри наявні технічні та економічні обмеження, темпи впровадження цієї технології зростають, і в найближчому майбутньому можна очікувати її масове застосування не лише у прототипуванні, а й у серійному виробництві автомобілів.

Список використаних джерел

1. Гаврилюк О. В., Скиба В. М. Використання адитивних технологій у машинобудуванні. Київ: НТУУ «КПІ», 2021. 124 с.
2. Ford Motor Company. 3D Printing Applications in Vehicle Manufacturing. Michigan, 2021. 88 p.
3. BMW Group. Additive Manufacturing in Automotive Industry. Munich, 2022. 156 p.
4. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies. New York: Springer, 2021. 621 p.

Сасов Олександр Олександрович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровського державного технічний університет, м. Кам'янське, e-mail: sasov@ukr.net

Хамбіков Кирило Дмитрович **–** здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, Дніпровського державного технічний університет, м. Кам'янське, e-mail: KhambikovKyr@ukr.net

Sasov Oleksandr O. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, e-mail: sasov@ukr.net

Khambikov Kyrylo D. **–** first (bachelor's) level higher education student, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, e-mail: KhambikovKyr@ukr.net

УДК 629.113

В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.В. Паламарчук

ДО ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ ТРИЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ ТИПУ B-TRIEPLE

Розглянуто питання стійкості руху три ланкових автопоїздів типу "B-triple" з керованими передніми осями возиків напівпричепів. Показано, що у перехідних режимах руху, таких як вхід у поворот, «перестановка» за швидкості 10 м/с автопоїзд залишається стійким. Крім того, критична швидкість прямолінійного руху автопоїзда перевищує його максимальну швидкість за тягово-швидкісними властивостями, що також свідчить про стійкість руху автопоїзда.

Ключові слова: *автопоїзд, напівпричіп, стійкість, бічна швидкість, бічне прискорення, критична швидкість, коливальна нестійкість*

The issue of stability of the movement of three-link road trains of the "B-triple" type with steered front axles of semi-trailer bogies is considered. It is shown that in transient driving modes, such as "entering a turn", "rearrangement" at a speed of 10 m/s, the road train remains stable. In addition, the critical speed of the straight-line movement of the road train exceeds its maximum speed in terms of traction and speed properties, which also indicates the stability of the road train movement.

Keywords: *road train, semi-trailer, stability, lateral speed, lateral acceleration, critical speed, oscillatory instability*

У сучасному автомобілебудуванні при створені багатоланкових автопоїздів питання вибору причіпних ланок є актуальним і воно активно обговорюється в літературі. Розрізняють дві основні схеми багатоланкових автопоїздів – причіпна і напівпричіпна. У причіпній схемі кожна ланка опирається на свої осі, у напівпричіпній – як на свої осі, так і на вісь попередньої ланки. Серед триланкових автопоїздів перспективними можуть стати 35-метрові автопоїзди з двома причепами або трьома напівпричепами, здатними перевозити три контейнери [1]. Використання багатоланкових автопоїздів повинно бути підтверджено не тільки прогресивним транспортним законодавством, але і вирішенням певних технічних проблем, спрямованих на забезпечення високої безпечності автопоїздів і всього транспортного потоку, серед яких безсумнівно є маневреність і стійкість руху.

Зчленовані важкі транспортні засоби або автопоїзди (АП) у складі автомобіля і напівпричепа (причепа) є одними з найбільш широко використовуваних засобів автомобільного транспорту [2]. З іншого боку, АП на відміну від одиночних транспортних засобів створюють суттєві проблеми безпеки на шосе, пов'язані з їх великою масою і значними габаритними розмірами, високим розташуванням центрів мас окремих ланок та внутрішніми силами, що діють на точки їх зчленування [3].

На відміну від одиночних автомобілів, для яких статична або дивергентна нестійкість, що пов'язана з надмірною повороткістю, є основною проблемою, АП також можуть мати динамічну або осциляційну нестабільність, головним чином через знижене системне демпфування повороту на високих швидкостях [4]. Автопоїзд характеризується унікальним динамічним явищем, відомим як коефіцієнт посилення бічного прискорення (RWA), який визначається як відношення між максимальним піковим боковим прискоренням у центрі мас напівпричепа (причепа) і автомобіля протягом дії маневру [5]. З погляду на RWA автопоїзд більш схильний до нестабільних режимів руху, наприклад, при виконанні маневру «змійка». Для більшості легкових автомобілів поріг перекидання перевищує 1,0 g, для легких вантажівок, фургонів і позашляховиків поріг коливається від 0,8 до 1,2 g; для завантажених автопоїздів часто коливається значно нижче 0,5 g [5].

Безпечний рух будь-якого транспортного засобу багато в чому визначається його динамічними властивостями і, у значній мірі, його стійкістю і керованістю. У даний час задача визначення умов стійкості дволанкових вантажних автопоїздів є достатньо вивченою. Так, у роботах [6] комбінації автомобілів з причепами і напівпричепами розглядаються як лінійні динамічні системи з двома ступенями свободи для кожного блоку. Рівняння руху виведені з урахуванням впливу гальмування та прискорення та отримано характерне рівняння для руху з

постійною швидкістю. Проте для триланкових автопоїздів такі рівняння потрібно ще отримати і на їх основі досліджувати маневреність і стійкість. У зв'язку з цим, метою роботи є визначення показників поперечної стійкості триланкових автопоїздів типу Bi-triple і пошук шляхів їх поліпшення.

У роботі [1] наведена система рівнянь, що описує рух три ланкових причіпних автопоїздів. Ця система рівнянь була взята за основу при складанні рівнянь руху для автопоїзда типу "B-triple" з передніми керованими осями возиків напівпричепів.

Інтегрування отриманих рівнянь руху виконано за таких вихідних даних: маса автомобіля тягача m=24000; маса возиків напівпричепів m_1= m_3= m_5=1700 кг; маса напівпричепів m_2=m_4=m_6=25000 кг (при завантаженні напівпричепа 40-футовим контейнером) і m_2=m_4=m_6=18300 кг (при завантаженні напівпричепа 20-футовим контейнером); коефіцієнт опору відведення коліс керованої осі автомобіля-тягача k_{y1}= 160000 Н/рад; ведучих осей автомобіля-тягача k_{y12}= k_{y13}= 220000 Н/рад; коефіцієнт опору відведення коліс осей напівпричепів k_{y2}= k_{y21}= k_{y22}= k_{y3}= k_{y31}= k_{y32}= k_{y4}= k_{y41}= k_{y42}=240000 Н/рад; I_y = 36288,0 кг×м^2; $I_{y1} = I_3 = I_{y5} = 275{,}4$ кг×м^2 (при завантаженні напівпричепа 20-футовим контейнером); $I_{y2} = I_{y4} = I_{y6} = 15550{,}0$ кг×м^2 (при завантаженні напівпричепа 20-футовим контейнером); $I_{y2} = I_{y4} = I_{y6} = 29350{,}0$ кг×м^2 (при завантаженні напівпричепа 40-футовим контейнером); геометричні параметри автопоїзда визначені через параметри тягового Scania і напівпричепів фірми Krone, рис. 1.

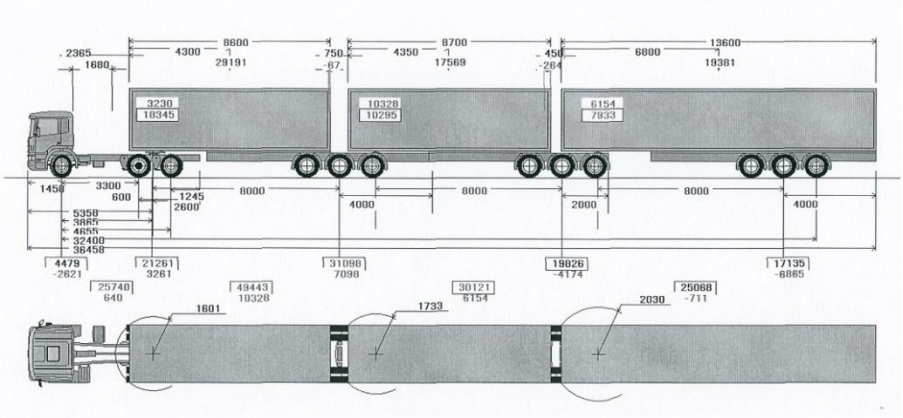


Рисунок 1 – Триланковий автопоїзд типу B-triple

На рис. 2, 3 наведені графіки зміни бічної швидкості і бічного прискорення напівпричепів при виконанні типових маневрів «вхід в поворот» і «переставка» за швидкості автопоїзда 10 м/с.

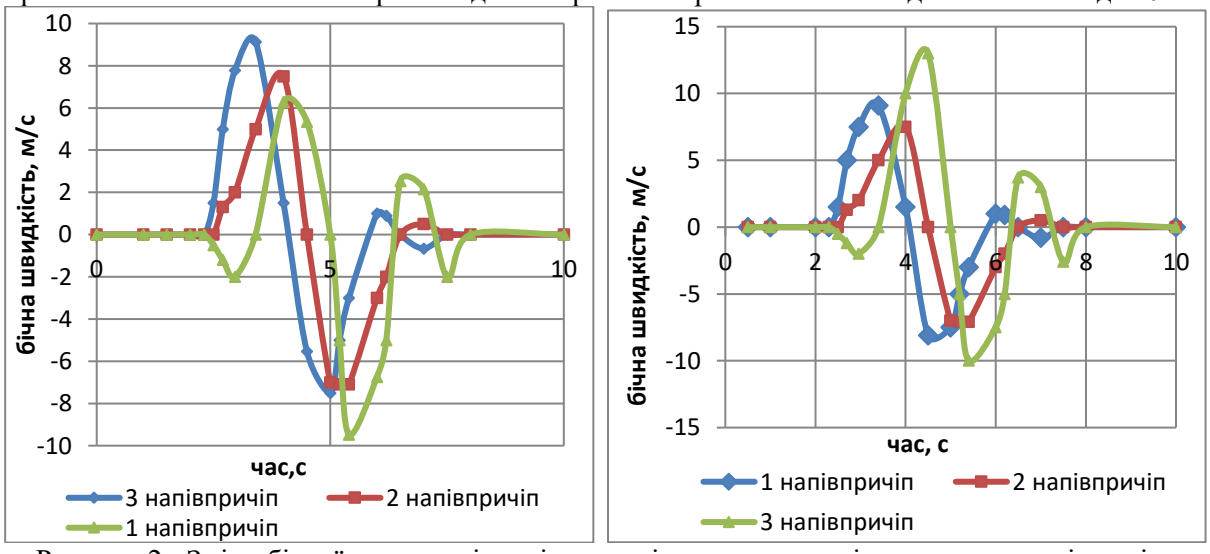


Рисунок 2 - Зміни бічної швидкості напівпричепів при виконанні типових маневрів «вхід в поворот» (а) і «переставка» (б) за швидкості автопоїзда 10 м/с

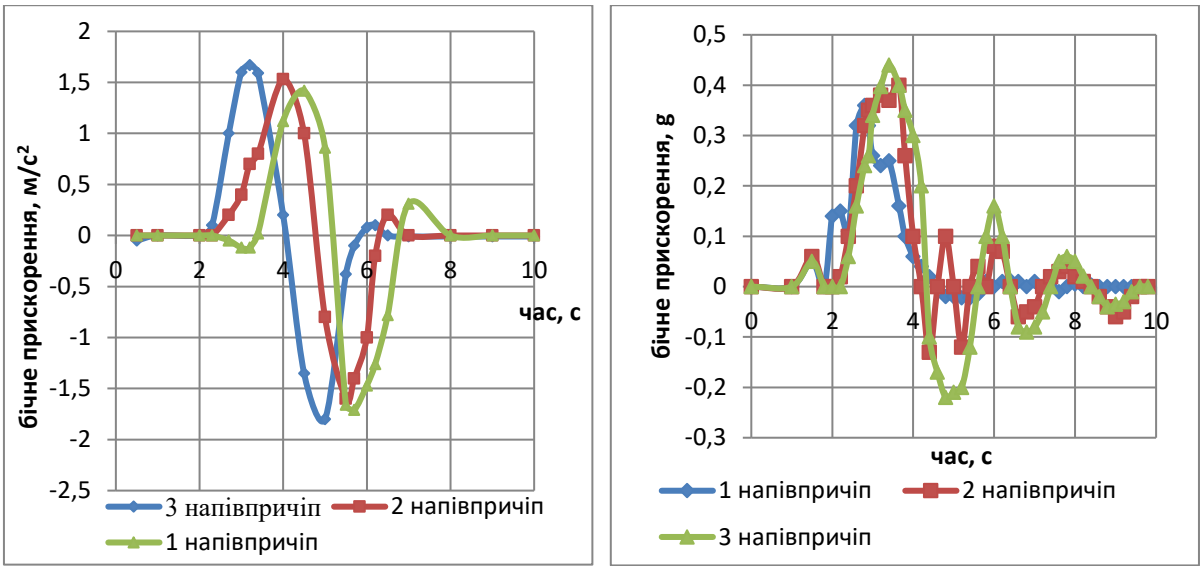


Рисунок 3 - Зміни бічного прискорення напівпричепів при виконанні типових маневрів «вхід в поворот» (а) і «переставка» (б) за швидкості автопоїзда 10 м/с

Аналіз наведених графіків показує, що за найбільше значення бічної швидкості і бічного прискорення притаманні третьому (останньому) напівпричепу, проте стійкість автопоїзда при виконанні цих маневрів забезпечується (максимальні прискорення не перевищують 0,45g).

Ще одним показником, що визначає стійкість руху автопоїзда, є критична швидкість прямолінійного руху, яка у загальному випадку може представлена як

Отримана система рівнянь дозволяє досліджувати поведінку автопоїзда як у стаціонарних, так і нестаціонарних рухах, а також визначати критичну швидкість $v_{кр.}$ Відповідно до теореми Ляпунова про стійкість сталого руху за першим наближенням [1], якщо всі корені характеристичного рівняння системи першого наближення рівнянь збуреного руху мають від'ємні дійсні частини, то незбурений рух є стійким і притому асимптотично стійким, якими б не були члени вищих порядків у диференціальних рівняннях збуреного руху.

Умови, за яких усі корені мають від'ємні дійсні частини, визначаються критерієм Льенара-Шипара [1]: для того щоб характеристичне рівняння мало всі корені з від'ємними дійсними частинами, необхідно і достатньо, щоб:

1) усі коефіцієнти характеристичного рівняння були позитивні;

2) були позитивними головні діагональні мінори матриці Гурвіца, що складені для даного характеристичного рівняння. Ці умови виконуються у разі додатності знаменника головного визначника системи, що має вигляд [1]

$$V < V_{кр} = \beta / (-\alpha). \qquad (1)$$

Якщо представити головний визначник у вигляді суми двох визначників [1], то отримаємо:

$$\left\| a_{ij} \right\|_1^6 = V^2 \times \left\| \beta_{ij} \right\|_1^6 + \left\| \alpha_{ij} \right\|_1^6, \qquad (2)$$

де $\beta_{ij} = \alpha_{ij} = a_{ij}$ $(i = \overline{1,6};\ j = 1,3,4,5,6)$ - постійні коефіцієнти, що визначаються конструктивними і кінематичними параметрами автопоїзда.

За прийнятих вихідних даних визначені показники стійкості автопоїзда, зокрема критична швидкість прямолінійного руху. За даними розрахунків критична швидкість склала 30,5 м/с.

Характерним для автопоїздів є те, що критична швидкість прямолінійного руху перевищує швидкість появи коливальної нестійкості, яка і характеризує стійкість руху.

У результаті розрахунків встановлено, що для автопоїзда з блокованим приводом управління на осі напівпричепів за швидкості руху v=27,9 м/с усі дійсні власні значення коренів характеристичного рівняння є від'ємними, тобто такий режим руху є стійким. При збільшенні швидкості руху автопоїзда до 28 м/с у додатну напівплощину переходить пара комплексно-спряжених коренів, що означає появу коливальної нестійкості при русі зі швидкостями $v > v_{*}$.

Поява такого роду нестійкості пов'язана з коливаннями третього напівпричепа, які призводять до втрати стійкості усієї системи, тобто втрати стійкості руху автопоїзда. Із цього слідує, що критична швидкість прямолінійного руху автопоїзда складає 27,9 м/с.

Висновки. На основі розробленої математичної моделі три ланкового автопоїзда типу B-trieple визначені показники стійкості його руху. Зокрема, встановлено, що у перехідних режимах руху, таких як «вхід у поворот», «переставка» автопоїзд за швидкості 10 м/с залишається стійким. Крім того встановлено, що критичну швидкість прямолінійного руху автопоїзда слід визначати за швидкістю появи коливальної нестійкості. Ця швидкість склала 27,9 м/с, що перевищує максимальну швидкість обраного автопоїзда за тягово-швидкісними властивостями.

Список використаних джерел

1. Сахно В. П., Шарай С. М., Мурований І. С., Човча І. В. До визначення стійкості руху триланкових автопоїздів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2022.–No1(18).С.155-166. ISSN 2313-5425

2. Wideberg J and Dahlberg E. A comparative study of legislation and stability measures of heavy articulated vehicles in different regions. Int J Heavy Veh Systems 2009; 16: 354–361.

3. Odhams A, Roebuck R, Cebon D and Winkler C. Dynamic safety of active trailer steering systems. ProcIMechE Part K: J Multi-body Dynamics 2008; 222(4): 367–380.

4. Hac, A., Fulk, D. and Chen, H. (2008) 'Stability and control considerations of vehicle-trailercombination', SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems, Vol. 1, No. 1, pp.925-937.

5. Winkler, C.B. (2000) 'Rollover of heavy commercial vehicles', UMTRI Research Review, Vol. 31, pp. 1-17.

6. Stability Analysis of Articulated Bus in Straight-ahead Running Manoeuvre / Alessandro De Felice1 , Matteo Mercantini , Silvio Sorrentino //J ournal of Applied and Computational Mechanics. Volume 7, Issue 3, Jule 2021. P.1649-1662. Doi 10.22055/JACM.2021.36566.2869

Сахно Володимир Прохорович **–** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua.

Поляков Віктор Михайлович **–** канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: poljakov_2006@ukr.net

Паламарчук Олексій Васильович **–** магістр, Національний транспортний університет, аспірант кафедри автомобілів. e-mail: alex-magtrans@ukr.net

Sakhno Volodymyr P. – Doctor of Technical Science, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. https://orcid.org/0000-0002-5144-7131

Poljakov Viktor M. – PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Assoc. Professor Transport of Automobiles Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail:poljakov_2006@ukr.net

Palamarchyk Olekcii V. – post-graduate student of the department of automobiles, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: alex-magtrans@ukr.net

УДК 621.87

В.О. Семеген

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІДНОСНОЇ ПЛОЩІ ДЕЯКИХ КВАЗІРЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ СФОРМОВАНИХ ВІБРАЦІЙНИМ ОБКОЧУВАННЯМ

У дослідженні розглянуто формування регулярного мікрорельєфу (РМР) на віброобкатаних поверхнях та визначено його відносну площу як співвідношення площі канавок до загальної площі оброблюваної поверхні. Особливу увагу приділено стохастичному характеру подачі на токарних і свердлильних верстатах, що впливає на геометрію канавок. Визначено площі канавок і стрічок, а також відносну площу РМР. Показано, що випадковість параметрів подачі суттєво впливає на значення відносної площі, що необхідно враховувати при виборі технологічних режимів і прогнозуванні експлуатаційних характеристик поверхонь.

Ключові слова: *регулярний мікрорельєф, канавки, відносна площа мікрорельєфу, деформувальний елемент, ймовірність.*

The study considers the formation of a regular microrelief (RMR) on surfaces and determines its relative area as the ratio of the area of the grooves to the total area of the machined surface. Particular attention is paid to the stochastic nature of the feed on lathes and drilling machines, which affects the geometry of the grooves. The areas of the grooves and strips, as well as the relative area of the RMR, are determined. It is shown that the randomness of the feed parameters significantly affects the value of the relative area, which must be taken into account when choosing technological modes and predicting the operational characteristics of surfaces.

Keywords: *regular microrelief, grooves, relative area of microrelief, deforming element, probability.*

Постійно зростаючі вимоги до збільшення ресурсу вузлів та агрегатів вимагають покращення якості та експлуатаційних характеристик робочих поверхонь відповідальних деталей. Підвищення зносостійкості та довговічності високонавантажених пар тертя є одним із основних завдань сучасного машинобудування.

Класичним підходом для забезпечення високої якості поверхні є зменшення її шорсткості, параметри якої регламентують відповідними стандартами [1] і відносно коефіцієнта тертя спряжених поверхонь. Однак у випадку високих питомих тисків та високих робочих температур неминучим є поява адгезії між спряженими поверхнями, яка призводить до утворення поверхневих дефектів навіть при нетривалих перевантаженнях [2, 3, 4]. Тому використання класичного підходу до забезпечення якості робочих поверхонь важконавантажених пар тертя є недоцільним.

Одним з основних наукових підходів підвищення зносостійкості поверхонь тертя є формування регулярного мікрорельєфу – сітки каналів невеликої глибини сформованої на поверхні робочих елементів деталей машин для забезпечення ряду суттєвих переваг [5, 6]. Сучасне обладнання дозволяє формувати такі мікрорельєфи з високою точністю на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням. Однак вартість такого обладнання є досить високою, а час формуванням мікрорельєфу – довшим у порівнянні з вібраційними методами формування, які базуються на механічному коливному русі віброобкатника з певною амплітудою. Такий метод формування мікрорельєфу є більш продуктивнішим при формуванні мікрорельєфу простих форм, особливо на плоских поверхнях, що задовольняє умови масового виробництва не надто відповідальних поверхонь.

Відносна площа, яку займає регулярний мікрорельєф (РМР) $F_к$ – виражене в процентах відношення площі, що займає РМР до площі оброблюваної поверхні деталі з РМР.

Площа віброобкатаної поверхні є важливою характеристикою регулярного мікрорельєфу, яка суттєво впливає на експлуатаційні показники поверхонь сформованими мікрорельєфами. Для формування РМР на циліндричних поверхнях потрібно три рухи: обертовий рух заготовки, осциляційний рух віброобкатника та рух його подачі [7]. Однак для формування РМР на плоских поверхнях потрібно лише рух подачі та осциляційний рух віброобкатника. Часто для формування РМР використовують свердлильні і токарні верстати з механічною коробкою подач. Враховуючи

те, що на таких верстатах подача носить стохастичний характер то і площа канавок сформована на таких верстатах також носить стохастичний характер.

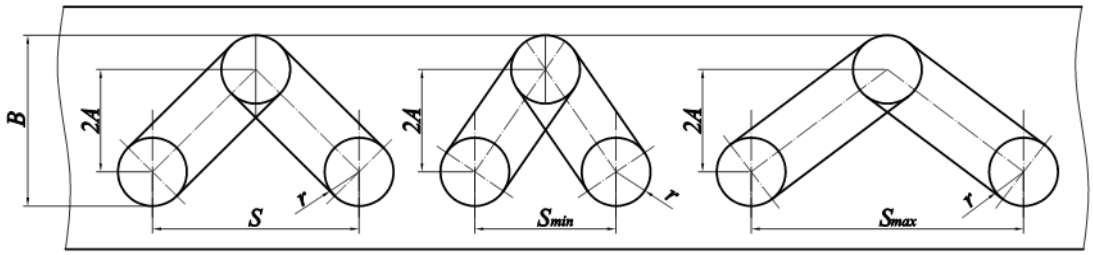


Рисунок 1 – Схема для визначення площ поверхонь із канавками мікрорельєфу

Формулу для визначення площі віброобкатаної канавки записано у вигляді:

$$F = 4r\sqrt{\frac{S_{под}^2 + 16A^2}{4}} - r^2 tgarctg\left(\frac{S}{4A}\right) + 2\pi r^2 \frac{arctg(S_{под}/4A)}{360}. \quad (1)$$

Для наглядного порівняння відносних площ поверхонь з регулярними мікрорельєфами задамося вихідними даними:

r – діаметр кульки, яка утворює канавку, r=0,2 мм.;

$\bar{S}_{под}$ – середнє значення подачі, $\bar{S}_{под}$=0,6 мм.;

σ – середньоквадратичне відхилення, σ =0,02.

А – значення амплітуди коливань, А=1 мм.

Знаходимо граничні значення подач $S_{под.max}$ і $S_{под.min}$ при σ =0,02

$$S_{под\max} = \bar{S} + 3\sigma = 0{,}6 + 3 \cdot 0{,}02 = 0{,}72 \text{ мм.}$$

$$S_{под\min} = \bar{S} - 3\sigma = 0{,}6 - 3 \cdot 0{,}02 = 0{,}48 \text{ мм.}$$

Знаходимо площу канавок $F_{кан}$ для різних значень $S_{под}$ за формулою (1)

$$F_{сер} = 4 \cdot 0{,}2\sqrt{\frac{0{,}6^2 + 16 \cdot 1^2}{4}} - 0{,}2^2 \cdot tgarctg\left(\frac{0{,}6}{4 \cdot 1}\right) + 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}2^2 \frac{arctg(0{,}6/4 \cdot 1)}{360} = 1{,}618 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\max} = 4 \cdot 0{,}2\sqrt{\frac{0{,}72^2 + 16 \cdot 1^2}{4}} - 0{,}2^2 \cdot tgarctg\left(\frac{0{,}72}{4 \cdot 1}\right) + 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}2^2 \frac{arctg(0{,}72/4 \cdot 1)}{360} = 1{,}626 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\min} = 4 \cdot 0{,}2\sqrt{\frac{0{,}48^2 + 16 \cdot 1^2}{4}} - 0{,}2^2 \cdot tgarctg\left(\frac{0{,}48}{4 \cdot 1}\right) + 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}2^2 \frac{arctg(0{,}48/4 \cdot 1)}{360} = 1{,}611 \text{ мм}^2.$$

Знаходимо площу стрічки $S_{стр.}$, на якій розміщена канавка

В загальному випадку площі стрічки буде визначатись із залежності

$$S_{стр} = (2 \cdot A + \rho) \cdot (S_{под} + \rho). \quad (2)$$

Оскільки $S_{под}/2 = 2A$, то $A = S_{под}/4$, відповідно

$$S_{стр} = (S_{под}/2 + \rho) \cdot (S_{под} + \rho). \quad (3)$$

$$S_{стр.сер} = (S_{под сер}/2 + \rho) \cdot (S_{под сер} + \rho) = (0{,}6/2 + 0{,}2) \cdot (0{,}6 + 0{,}2) = 0{,}4 \text{ мм}^2.$$

$$S_{стр.\max} = (S_{под\max}/2 + \rho) \cdot (S_{под\max} + \rho) = (0{,}72/2 + 0{,}2) \cdot (0{,}72 + 0{,}2) = 0{,}5152 \text{ мм}^2.$$

$$S_{стр.\min} = (S_{под\min}/2 + \rho) \cdot (S_{под\min} + \rho) = (0{,}48/2 + 0{,}2) \cdot (0{,}48 + 0{,}2) = 0{,}5292 \text{ мм}^2.$$

Знаходимо відносну площу віброобкатаних поверхонь.

Відносну площу знаходимо по відношенню до максимального значення площі стрічки $S_{стр.\max}$

$$F_k = \frac{F_{кан}}{S_{стр.\max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \rho \cdot S_{под} + \frac{\pi \cdot \rho^2}{8} - \frac{\rho^2}{2}}{(S_{под}/2 + \rho) \cdot (S_{под} + \rho)}. \quad (4)$$

$$F_{kcce} = \frac{F_{кансер}}{S_{стр.\max}} = \frac{0,1314}{0,5152} = 0,255 \text{ мм}^2;$$

$$F_{k\min} = \frac{F_{кан\min}}{S_{стр.\max}} = \frac{0,1654}{0,5152} = 0,321 \text{ мм}^2;$$

$$F_{k\max} = \frac{F_{кан\max}}{S_{стр.\max}} = \frac{0,1993}{0,5152} = 0,386 \text{ мм}^2.$$

Таким чином отримано значення для визначення мінімальних, максимальних та середніх значень відносної площі мікрорельєфу, яка буде отримана при його формуванні на верстатах загального призначення з механічними коробками подач.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 2413-94 «Вимірювання параметрів шорсткості. Терміни та визначення» – Введ. 1995–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 22 с.

2. Nagit G., Slatineanu L., Dodun O., Ripanu M., Mihalache A. (2019). Surface layer microhardness and roughness after applying a vibroburnishing process. Journal of Materials Research and Technology. 8. 10.1016/j.jmrt.2019.07.044

3. Pawlus, P., Reizer, R., Królczyk, G.M. et al. A State of the Art on Surface Texture Creation Modelling Methods in Machining. Arch Computat Methods Eng 32, 3141–3167 (2025). https://doi.org/10.1007/s11831-025-10229-4

4. Pawlus, Pawel and Reizer, Rafal, Improvement of Wear Scar Volume Estimation in Reciprocating Motion. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4951610 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4951610

5. Dzyura V., Kryvyi P., Tymoshenko N., Maruschak P., Nugaras J., Prentkovskis O. Probability-statistical estimation method of feed influence on as-turned finish of steels and non-ferrous metals. Metals 2018, 8, 965. DOI: 10.3390/met8110965

6. Dzyura, V., Maruschak, P., Slavov, S., Dimitrov, D., Vasileva, D. Experimental research of partial regular microreliefs formed on rotary body face surfaces. Aviation, 2021, 25(4), 268-277. https://doi.org/10.3846/aviation.2021.15889

7. Дзюра В.О., Семеген В.О., Федів В.Я., Крук О.Ю., Марущак П.О. Аналіз причин утворення поверхневих дефектів на робочих поверхнях конусних дисків варіаторних трансмісій. “Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту. Innovative technologies for the development and efficiency of road transport”, Центральноукраїнський національний технічний університет. 22 – 24 листопада 2023 р. – с. 156-157.

Володимир Семеген **–** аспірант кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, e-mail: semegen5@gmail.com

Volodymyr Semehen **–** postgraduate student of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, e-mail: semegen5@gmail.com

УДК 629.3.07:656.1.078

А.А. Сергійчук, А.В. Гриньків, В.В. Аулін, А.В. Сергійчук

КРИТЕРІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РІВНЯ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Висвітлено процес поетапного впровадження стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025:2019 у діяльність станції технічного обслуговування ТОВ «АВТОМОТОДІАГНОСТИКА». Розглянуто організаційні, технічні та управлінські заходи, спрямовані на гармонізацію системи управління ефективністю і якістю підприємства з вимогами міжнародних стандартів ISO 9001:2015 та ISO/IEC 17025:2019. Детально проаналізовано структуру та функціональні обов'язки випробувальної лабораторії, її політику у сфері якості, принципи конфіденційності, неупередженості й достовірності результатів. Описано методи випробувань, перевірки технічного стану колісних транспортних засобів різних категорій (M, N, O, L), процедури оцінювання невизначеності вимірювань, забезпечення метрологічної простежуваності та ведення технічних записів. Обґрунтовано доцільність сертифікації лабораторій технічного сервісу як чинника підвищення якості діагностики, безпеки та екологічності транспортних засобів. Наведено результати практичної реалізації системи управління якістю, які підтверджено успішним проходженням акредитації Національного агентства з акредитації України.

Ключові слова: *ДСТУ ISO/IEC 17025:2019; система управління якістю; випробувальна лабораторія; технічний стан транспортних засобів; акредитація; стандартизація; метрологічна простежуваність; невизначеність вимірювань; протокол випробувань.*

The process of phased implementation of the DSTU ISO/IEC 17025:2019 standard in the activities of the technical service station of LLC "AUTOMOTODIAGNOSTIKA" is highlighted. Organizational, technical and managerial measures aimed at harmonizing the efficiency and quality management system of the enterprise with the requirements of international standards ISO 9001:2015 and ISO/IEC 17025:2019 are considered. The structure and functional responsibilities of the testing laboratory, its quality policy, principles of confidentiality, impartiality and reliability of results are analyzed in detail. The methods of testing, checking the technical condition of wheeled vehicles of various categories (M, N, O, L), procedures for assessing measurement uncertainty, ensuring metrological traceability and maintaining technical records are described. The feasibility of certifying technical service laboratories as a factor in improving the quality of diagnostics, safety and environmental friendliness of vehicles is substantiated. The results of the practical implementation of the quality management system are presented, which are confirmed by the successful accreditation of the National Accreditation Agency of Ukraine.

Keywords: *STU ISO/IEC 17025:2019; quality management system; testing laboratory; technical condition of vehicles; accreditation; standardization; metrological traceability; measurement uncertainty; test protocol.*

Запровадження стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025:2019 у діяльність СТО ТОВ «АВТОМОТОДІАГНОСТИКА» підвищило ефективність системи технічного обслуговування та рівня безпеки транспортних засобів здійснювалося поетапно, відповідно до розробленого плану, що передбачав п'ять основних етапів.

На першому етапі було проведено всебічний аналіз поточного стану підприємства, що дало змогу визначити невідповідності між існуючими процесами СТО та вимогами стандарту ISO 9001:2015. Було призначено відповідального представника керівництва, організовано попередній діагностичний аудит і сформовано робочу групу з представників основних підрозділів. На цьому ж етапі створено дорожню карту впровадження системи управління якістю із визначенням ресурсів і термінів реалізації.

Другий етап передбачав визначення контексту діяльності підприємства, зацікавлених сторін, формування політики у сфері якості та постановку вимірюваних цілей. Було описано ключові бізнес-процеси (приймання клієнтів, проведення діагностики, ремонт, контроль якості), а також розроблено процедури управління документацією, персоналом, невідповідностями та взаємодією з клієнтами.

На третьому етапі відбувалося практичне впровадження системи управління якістю. Це включало:

– навчання персоналу вимогам стандарту та ознайомлення з оновленими посадовими інструкціями;

– адаптацію процесів обслуговування до положень стандарту ISO;

– впровадження системи записів (акти перевірки, карти ремонту, журнали зворотного зв'язку);

– тестування дієвості процедур у пілотному режимі.

Четвертий етап охоплював внутрішню оцінку ефективності основних процесів — від прийняття замовлення до передачі автомобіля клієнтові. Проведено внутрішній аудит на відповідність вимогам ISO 9001:2015, результати якого було проаналізовано на нараді керівництва. На основі отриманих висновків розроблено та реалізовано коригувальні дії: оновлення внутрішніх процедур, підвищення кваліфікації працівників і вдосконалення системи взаємодії з клієнтами.

На заключному етапі здійснено зовнішній аудит, який проводився Національним агентством з акредитації України. За результатами перевірки СТО отримало сертифікат відповідності вимогам ISO/IEC 17025:2019.

Право проведення випробувань технічного стану колісних транспортних засобів та оцінювання якості наданих послуг на автотранспортних підприємствах (АТП) і станціях технічного обслуговування (СТО) надається випробувальним лабораторіям (ВЛ), які мають атестат акредитації, виданий Національним агентством з акредитації України, що підтверджує їх компетентність. Таке право отримала випробувальна лабораторія ТОВ «АВТОМОТОДІАГНОСТИКА» (м. Кропивницький).

У структурі цієї лабораторії функціонує дев'ять дільниць, розташованих на території Кіровоградської області.

Основним призначенням діяльності випробувальної лабораторії та організації системи управління якістю на підприємстві транспортних послуг є:

– забезпечення ефективного задоволення потреб клієнтів і підвищення конкурентоспроможності;

– створення сприятливих умов для стабільної роботи персоналу та формування позитивного іміджу підприємства;

– визначення логічної послідовності процесів для досягнення прогнозованих результатів;

– гарантування постійної довіри зацікавлених сторін до результативності й ефективності системи управління.

Таким чином, впровадження системи управління якістю (СУЯ) є стратегічним рішенням керівництва підприємства, спрямованим на підвищення рівня надання транспортних послуг та зміцнення позицій компанії на ринку.

До основних функціональних обов'язків випробувальної лабораторії (ВЛ) належить проведення випробувань відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2019 та забезпечення задоволення потреб замовників, органів державної влади й установ, що здійснюють офіційне визнання результатів випробувань.

Діяльність ВЛ здійснюється в межах акредитованої сфери згідно з Настановою з якості та визначеними внутрішніми процедурами, які реалізують політику лабораторії у сфері якості. Основними положеннями цієї політики є:

– надання послуг ВЛ усім заявникам, діяльність яких відповідає сфері її акредитації;

– прозорість і доступність порядку надання послуг з випробувань без встановлення дискримінаційних чи економічно необґрунтованих умов;

– незалежність доступу до послуг від розміру підприємства або його членства в будь-яких асоціаціях чи об'єднаннях;

– відкритість критеріїв оцінювання продукції постачальників, що відповідають вимогам чинних стандартів;

– відсутність вимог з оцінки відповідності, які виходять за межі затвердженої сфери акредитації ВЛ.

Керівник ВЛ несе персональну відповідальність за достовірність, об'єктивність, точність і конфіденційність результатів випробувань. Для запобігання упередженості у діяльності

лабораторії керівництво зобов'язує персонал повідомляти про будь-які обставини, що можуть вплинути на неупередженість результатів.

У лабораторії створено належні умови для збереження конфіденційної інформації. Документи, що містять відомості про замовників або результати робіт, зберігаються на паперових носіях у зачинених шафах чи столах, доступ до яких має лише керівник ВЛ.

Електронні дані (протоколи випробувань, службове листування, документи системи управління) зберігаються на комп'ютерах лабораторії. Для запобігання втраті інформації щодня здійснюється резервне копіювання на зовнішні носії. Усі комп'ютери обладнані ліцензійним програмним забезпеченням, антивірусними системами та захищені паролями. Обслуговуванням техніки займається спеціалізований ІТ-відділ підприємства.

ВЛ має у своєму складі керівний і технічний персонал, який, незалежно від інших функцій, наділений достатніми повноваженнями та ресурсами для виконання таких завдань:

– впровадження, підтримання та вдосконалення системи управління якістю;

– виявлення невідповідностей у процесах випробувань і ініціювання коригувальних дій;

– забезпечення чіткого розподілу прав, обов'язків і відповідальності, що регламентовано у «Положенні про випробувальну лабораторію»;

– запровадження організаційних заходів для гарантування незалежності персоналу від будь-якого фінансового чи комерційного впливу, який може вплинути на об'єктивність результатів;

– підтримання декларацій персоналу щодо дотримання принципів неупередженості, об'єктивності та професійної етики;

– реалізація політики і процедур із забезпечення конфіденційності інформації та захисту прав замовників.

Відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT, ISO/IEC 17025:2017, IDT), сфера діяльності ВЛ охоплює проведення випробувань, перевірку конструкцій і технічного стану колісних транспортних засобів (КТЗ) категорій:

M1, M2, M3, M1G, M2G, M3G (крім тролейбусів), M1S, M2S, M3S (крім тролейбусів), M1GS, M2GS, M3GS (крім тролейбусів), N1, N2, N3, N1G, N2G, N3G, N1S, N2S, N3S, N1GS, N2GS, N3GS, O1, O2, O3, O4, O1S, O2S, O3S, O4S, L1–L7, L1e–L7e, включно з таксі, навчальними транспортними засобами, шкільними автобусами, транспортом для перевезення осіб з інвалідністю, великогабаритними та великоваговими автомобілями, спецавтомобілями екстреної медичної допомоги, транспортними засобами, призначеними для перевезення небезпечних вантажів та швидкопсувних продуктів.

Випробувальна лабораторія (ВЛ) проводить дослідження широкого спектра колісних транспортних засобів (КТЗ) таких категорій: M1, M1G, M1S, M1GS (зокрема таксі, автомобілі швидкої медичної допомоги), M2, M3, M2G, M3G, M2S, M3S, M2GS, M3GS (включаючи спеціалізовані транспортні засоби для перевезення школярів і осіб з інвалідністю), а також N1, N2, N3, N1G, N2G, N3G, N1S, N2S, N3S, N1GS, N2GS, N3GS, серед яких – вантажівки, автомобілі для перевезення пасажирів, небезпечних або швидкопсувних вантажів, а також великогабаритні та великовагові ТЗ.

ВЛ здійснює комплексну перевірку наявності, маркування, конструкції та технічного стану тягово-зчіпного й сідельно-зчіпного обладнання, пневматичних шин, а також колісних транспортних засобів (КТЗ), призначених для перевезення швидкопсувних продуктів.

Під час технічної оцінки проводиться ідентифікація транспортного засобу, перевірка гальмівної системи, системи керування, елементів оглядовості, світлових приладів, електрообладнання, осей, коліс, шин, підвіски, шасі та його складників, а також визначення рівня викидів.

Придатність транспортних засобів до експлуатації визначається відповідно до вимог інструкції ITF/IRU (2014) "ECMT Multilateral Quota. User Guide", з урахуванням положень Віденської угоди 1997 р. щодо перевірки технічного стану КТЗ. Крім того, додаткові перевірки проводяться для великогабаритних і великовагових транспортних засобів, а також для ідентифікаційних знаків, бокових і задніх світловідбивальних елементів великовантажних і довгомірних ТЗ.

Точність і достовірність результатів випробувань ВЛ забезпечується комплексом чинників: кваліфікацією персоналу (людський фактор), умовами проведення випробувань,

застосовуваними методиками, характеристиками обладнання, простежуваністю вимірювань і оцінкою ризиків. Вплив цих чинників на невизначеність результатів оцінюється індивідуально для кожного типу випробування. ВЛ враховує зазначені аспекти під час розроблення методів, навчання персоналу, вибору обладнання та планування випробувань.

У своїй діяльності лабораторія застосовує методи й процедури, що відповідають її сфері акредитації, включаючи відбирання та поводження зі зразками, а також оцінювання невизначеності вимірювань відповідно до ДСТУ РМГ 43:2006 “Посібники з оцінювання невизначеності вимірювань”. Перевірка придатності методик здійснюється згідно з ПСУ-07 “Вибирання та верифікація методик”.

Таким чином, визначено напрями підвищення ефективності і якості системи технічного обслуговування колісних транспортних засобів на базі підприємств сервісного типу. Показано, що одним із ключових шляхів удосконалення є акредитація лабораторії відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT). Проаналізовано вимоги Національного агентства з акредитації України щодо організації випробувальних лабораторій у сфері технічного сервісу. Наведено структуру, функції та завдання ВЛ ТОВ “АВТОМОТОДІАГНОСТИКА” м. Кропивницький і її регіональних підрозділів. Досліджено практичну реалізацію вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 під час перевірки конструкції та технічного стану КТЗ різних категорій.

Список використаних джерел

1. Концепція дистанційної діагностики технічного стану транспортних засобів в процесі їх експлуатації / О. Л. Ляшук, В. А. Готович, В. О. Бонар [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 1. - С. 29-39.

2. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В., Лівіцький О.М. Підвищення ефективності використання транспортних машин у агропромисловому виробництві узгодженням їх експлуатаційних характеристик та умов функціонування. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 6(37) ч.II. С.45-57.

3. Д. В. Голуб, В. В. Біліченко, В. В. Аулін, А. С. Замуренко, і Р. П. Кічура, «Методологічний підхід до розв’язання проблеми надійності функціонування автомобільних транспортних систем », ВМТ, вип. 19, вип. 1, с. 29–38, Лип 2024.

Сергійчук Андрій Андрійович – аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: stokirovograd@gmail.com

Гриньків Андрій Вікторович – к.т.н., старший дослідник, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Аулін Віктор Васильович – д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: aulinvv@gmail.com

Сергійчук Андрій Вікторович – начальник випробувальної лабораторії ТОВ "Автомотодіагностика", м. Кропивницький, e-mail: stokirovograd@gmail.com

Serhiychuk Andriy A. – postgraduate student of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: stokirovograd@gmail.com

Hrynkiv Andrii V. – Ph.D., senior researcher, senior lecturer of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Aulin Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: aulinvv@gmail.com

Serhiychuk Andrii V. – Head of the Testing Laboratory of Avtomotodiagnostics LLC, Kropyvnytskyi, e-mail: stokirovograd@gmail.com

УДК 656.1

Є.Б. Сліпенький, В.О. Дорощук

3D-СИМУЛЯЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СЕРЕДОВИЩІ FLEXSIM: ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ

В умовах високої складності сучасної логістики, необхідності швидко реагувати на попит і постійно скорочувати операційні витрати, традиційні методи планування вже не є достатньо ефективними. Їх замінює 3D-симуляційне моделювання, за допомогою якого можна створювати цифрові копії реальних логістичних систем та проводити тестування змодельованих процесів.

Ключові слова: *3D-моделювання, FlexSim, моделі, моделювання, оптимізація, логістичні процеси, склади.*

In the face of the high complexity of modern logistics, the need to quickly respond to demand and constantly reduce operating costs, traditional planning methods are no longer effective enough. They are being replaced by 3D simulation modeling, which allows you to create digital copies of real logistics systems and test simulated processes.

Key words: *3D modeling, FlexSim, models, simulation, optimization, logistics processes, warehouses.*

Сучасна логістика характеризується високою складністю процесів, потребою у швидкому реагуванні на зміни попиту та необхідністю зниження операційних витрат. У цих умовах традиційні методи планування поступаються місцем 3D-симуляційному моделюванню, яке дозволяє створювати віртуальні копії логістичних систем, прогнозувати їхню поведінку та оптимізувати параметри функціонування.

Ефективну складську діяльність можливо організувати тільки за умови раціонально організованого розміщення технологічних процесів в просторі. Правильне планування складських площ забезпечує необхідні обсяги продажів і зростання компанії в цілому [2].

FlexSim є однією з найпоширеніших платформ, що поєднує технології імітаційного моделювання, цифрових двійників, штучного інтелекту та віртуальної реальності (VR). У період 2021–2025 років спостерігається стрімке зростання наукової активності, присвяченої FlexSim, що свідчить про його роль як одного з провідних засобів цифрової трансформації промислової та логістичної діяльності.

3D-симуляційне моделювання передбачає створення віртуальних моделей реальних логістичних систем для проведення експериментів без ризику для реальної інфраструктури. Цей підхід забезпечує пряме уникнення помилок планування, точну передбачуваність інвестицій та візуалізацію логістичної будівлі ще до її реалізації.

Моделювання складів залишається найважливішим напрямком досліджень. Симулятор складу – це програма, що дозволяє відтворити у віртуальному середовищі всі елементи логістичного об'єкта, включаючи вантажі, системи зберігання та підйомно-транспортне обладнання. Цифрова модель працює з реальними даними, такими як кількість оброблених замовлень, отримання та відвантаження вантажів.

Останні дослідження підкреслюють еволюцію моделювання в напрямку цифрових двійників (Digital Twins). Цифровий двійник визначається як віртуальне представлення фізичного об'єкта, системи або процесу, яке відображає атрибути і стани фізичного об'єкта в режимі реального часу. Цифрові двійники можуть моделювати взаємодію фізичних і цифрових процесів уздовж усього ланцюга поставок – від концепції продукту і виробництва до складування і дистрибуції. Очікується, що світовий ринок цифрових двійників зростатиме приблизно на 30–40% на рік, досягнувши 125–150 мільярдів доларів до 2032 року.

FlexSim позиціонує себе як інструмент для відображення повної схеми заводу у вигляді тривимірної (3D) віртуальної моделі, включаючи машини, виробничі лінії, транспортні маршрути, склади та операторські станції. Цифровий двійник FlexSim дозволяє реалістично відстежувати виробничі та логістичні потоки в повсякденних робочих умовах.

Ключові функціональні можливості FlexSim (2021–2025):

1. FlexSim пропонує розширені комунікаційні функції, включаючи RESTful HTTPS API та інтерфейс веб-сервера. Це забезпечує можливість автоматично завантажувати дані з регулярними інтервалами або навіть у режимі реального часу та запускати симуляції. Архітектура FlexSim є відкритою, що дозволяє автоматично будувати моделі на основі необроблених вхідних даних.

2. Платформа підтримує двосторонню інтеграцію з Autodesk Digital Factory та NVIDIA Omniverse. У FlexSim 2023 Update 2 з'явився роз'єм для підключення до платформи Omniverse. Також підтримується USD (Universal Scene Description), що дозволяє експортувати та інтегрувати моделі з іншими 3D-інструментами. Стратегічне придбання FlexSim компанією Autodesk дозволило створити новий робочий процес валідації заводських макетів та інтеграцію з Autodesk Factory Design Utilities.

3. Для спрощення аналітичної обробки даних була впроваджена нова база даних результатів експериментів, де всі дані зберігаються у файлі бази даних SQLite. Також доступний вбудований інструмент Curve Fitter для підгонки кривих.

Ключові технологічні тенденції у моделюванні FlexSim:

1. **Інтелектуалізація моделювання: Штучний інтелект (ШІ) та Машинне навчання (МН).** У 2022 році FlexSim інтегрував інструмент навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL), що стало революційною тенденцією. FlexSim може слугувати навчальним середовищем для алгоритмів RL. Це включає покращену інтеграцію з Microsoft Project Bonsai. Користувачі активно працюють над створенням оптимізаторів на основі ШІ з використанням результатів моделювання FlexSim та зовнішніх ресурсів машинного навчання, таких як Stable-Baselines3. Ця тенденція демонструє перехід до інтелектуальних адаптивних систем, які можуть навчатися і оптимізуватися в режимі реального часу.

Додатково, дослідження показують, що генеративний ШІ може ефективно використовуватися для створення блок-схем логістичних процесів, інтелектуальних карт, діаграм Ганта, а також діаграм ER і UML для логістичних процесів.

2. **Імерсивні технології: VR/AR та навчання.** Інтеграція технологій віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності є важливою складовою сучасного 3D-моделювання. VR-навчання на складах дозволяє відпрацьовувати завдання у безпечному і контрольованому середовищі. VR може імітувати робоче середовище, дозволяючи співробітникам практикувати, наприклад, пакування без ризику помилок.

FlexSim підтримує вбудований VR-режим, який дозволяє "перебувати" всередині моделі для оцінки взаємодії компонентів та тестування сценаріїв роботи персоналу. VR забезпечує три типи обізнаності:

- Просторова присутність (учень втрачає усвідомлення штучного середовища).
- Самоприсутність (здатність активно діяти у віртуальному світі).
- Соціальна присутність (взаємодія з іншими людьми в середовищі).

Революційним підходом є також система EPG HOLODECK VR CAVE – перша у світі система VR CAVE для логістики, що дозволяє 12 відвідувачам випробувати 3D-симуляцію, емуляцію та візуалізацію логістичних процесів без використання окулярів віртуальної реальності.

3. **Автономна мобільна робототехніка (AGV/AMR).** Спостерігається значний розвиток у моделюванні автономних керованих транспортних засобів (AGV) та автономних мобільних роботів (AMR). FlexSim 2022 Update 2 представив оновлення для моделювання AMR. FlexSim 2025 Update 1 включає динамічні типи навантаження AGV. Платформа також підтримує моделювання систем, подібних до Kiva та AutoStore. Інтеграція цих автономних систем з 3D-моделюванням дозволяє оптимізувати складські потоки.

4. **Сталість та екологічна ефективність.** Зростаюча екологічна свідомість стимулює моделювання сталих процесів. Модуль сталого розвитку Flexcon Helios допомагає виробникам оптимізувати енергоспоживання та скоротити викиди CO_2.

Цей модуль забезпечує:

- просунуте енергетичне планування (моделювання енергетичних потреб та інтенсивності викидів CO_2),

- детальний аналіз витрат і вуглецевого сліду (комплексне уявлення про загальні заводські витрати),
- управління енергетичною політикою (визначення потреб в енергії для окремих процесів).

Практичні дослідження, що використовували FlexSim для аналізу виробництва екологічно чистих виробів, продемонстрували підвищення продуктивності та скорочення споживання палива й викидів CO_2 під час транспортування.

Програмний продукт FlexSim оснащений потужними засобами 3D-графіки та візуалізації і призначений для оптимізації, моделювання та аналізу складних процесів і систем. Він надає аналітикам виробничих систем безпечне (безризикове) середовище для створення моделей та проведення над ними експериментів.

Впровадження 3D-симуляційного моделювання FlexSim у логістиці забезпечує суттєві покращення (рис.1).



Рисунок 1 – Впровадження 3D-симуляційного моделювання FlexSim у логістиці

Попри високу ефективність, впровадження 3D-симуляційних систем має виклики:

- Основні проблеми включають високі витрати на впровадження (ліцензії та обладнання) та потребу у спеціалізованих кадрах.
- Необхідність інтеграції різних технологій — від датчиків Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту та аналізу великих даних до хмарних обчислень — становить значний технічний виклик.

Майбутні напрямки досліджень:

1. Подальша інтеграція ШІ та МН для автоматизованої оптимізації.
2. Розвиток моделей самоадаптивних цифрових двійників.
3. Інтероперабельність, тобто Цифрові двійники розглядаються як каталізатори Фізичного Інтернету, що забезпечують шлях до більшої ефективності та автоматизації логістичних мереж.
4. Розвиток хмарних платформ 3D-моделювання та використання хмарних обчислень для масштабованих рішень і колективного моделювання.

Майбутнє галузі прямує до самовідновлюваних ланцюгів постачання, заснованих на інтелектуальних системах моделювання, які можуть прогнозувати, оптимізувати та адаптуватися до змін у режимі реального часу.

Отже, 3D-симуляційне моделювання в середовищі FlexSim є потужним інструментом оптимізації логістичних процесів. Сучасні тенденції розвитку FlexSim (2021–2025) демонструють чіткий напрямок до інтелектуальних, стійких і повністю інтегрованих систем моделювання, зокрема, завдяки інтеграції цифрових двійників у режимі реального часу та використанню штучного інтелекту для самонавчання моделей. FlexSim позиціонується як платформа майбутнього для цифрової промислової трансформації.

Список використаних джерел

1. 3D Printing and the Future of Supply Chains. A DHL perspective on the state of 3D printing and implications for logistics. URL: http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trendreport_3dprinting.pdf/.

2. Марченко В.М., Шутюк В.В. Логістика: Підручник. – К.: Видавничий дім «Артек», 2018. – 312 с.

Сліпенький Євгеній Богданович – старший викладач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування e-mail: e.b.slipenkyi@nuwm.edu.ua.

Дорощук Вікторія Олександрівна – старший викладач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування e-mail: v.o.doroshchuk@nuwm.edu.ua.

Slipenkyi Evgeniy – senior lecturer of the Department of Transport Technology and Technical Service National university of water and environmental engineering e-mail e.b.slipenkyi@nuwm.edu.ua.

Doroshchuk Viktoriia – senior lecturer of the Department of Transport Technology and Technical Service National university of water and environmental engineering e-mail: v.o.doroshchuk@nuwm.edu.ua.

УДК 656.078

С.А. Слободяник, В.Л. Крещенецький, В.О. Огневий

АЛГОРИТМ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ВИТРАТИ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ

Розглянуто доцільність застосування методики формування витрати моторної оливи при експлуатації автомобілів. Запропоновано укрупнений алгоритм імітаційної моделі формування витрати моторної оливи при експлуатації автомобілів.

Ключові слова: *автотранспортне підприємство, рухомий склад, витрата моторної оливи, алгоритм, експлуатація автомобілів.*

The feasibility of using the method of forming the consumption of motor oil during the operation of cars is considered. An enlarged algorithm of the simulation model of forming the consumption of motor oil during the operation of cars is proposed.

Keywords: *motor transport company, rolling stock, engine oil consumption, algorithm, vehicle operation.*

Моторні оливи відіграють важливу роль у забезпеченні довговічності та ефективності автомобілів. Термін служби двигунів залежить від якості олив і частоти їх заміни. Тому вартість (ТО) і ремонту (Р) залежить від правильного підбору і своєчасної подачі моторних олив[5].

Застосовувана в даний час система нормування витрати моторної оливи передбачає визначення планової витрати пропорційно кількості споживаного палива. Поряд з перевагою такої системи, яка полягає в її простоті, вона має і ряд недоліків. Зокрема, недостатньо враховано вплив умов експлуатації на витрату оливи. Крім того, деякі фактори по-різному впливають на витрату палива і витрати оливи. В результаті розрахункова витрата оливи, визначена за діючою методикою, може істотно відрізнятися від фактичної. Це призводить до збільшення запасів або її нестачі. Відповідно, зростають витрати на закупівлю і зберігання оливи, або зменшується довговічність двигунів, збільшуються витрати на ремонт.

Планування витрати оливи на заміну здійснюється виходячи з виробничої програми на ТО. При цьому не враховується, що у зв'язку з розкидом інтенсивності експлуатації автомобіля протягом року потік вимог до технічного обслуговування з часом змінюється, викликаючи зміну потреби в оливі. Таким чином, виникає актуальна проблема планування потреби в моторній оливі з урахуванням варіації умов експлуатації і зниження витрат на оборотні кошти на цій основі[1].

Сам процес формування потреби в моторній оливі можна охарактеризувати як стохастичний нестаціонарний. У таких випадках необхідно використовувати імітаційну модель для моделювання.

Укрупнений алгоритм імітаційної моделі формування витрати моторної оливи при експлуатації автомобілів представлений на рис. 1.

Спочатку вводяться вхідні дані та параметри процесу моделювання, а також генерація початкового стану (початкового пробігу транспортного засобу). Номер лічильника циклів дорівнює одиниці. Далі формуються значення показників факторів умов експлуатації та інтенсивності експлуатації. Розраховується загальний час роботи двигуна і час роботи після чергового технічного обслуговування.

Потім перевіряється умова досягнення часу роботи перед черговим ТО. Якщо напрацювання досягнуто, то відбувається збільшення загальної витрати оливи на заміну, обнулення часу роботи після ТО і доведення обсягу оливи в двигуні до верхньої позначки щупа. Після цього розраховується інтенсивність витрати оливи на доливання.

Якщо напрацювання до чергового ТО не досягнуто, то проводиться перехід до розрахунку інтенсивності витрати оливи на доливання[3].

Далі розраховується обсяг витраченої оливи і залишковий обсяг в двигуні.

Перевіряється умова необхідності доливання оливи.

Якщо умова виконується, то загальна витрата оливи на доливання збільшується, а обсяг оливи в двигуні доводиться до повної комплектації. Результати розрахунків фіксуються.

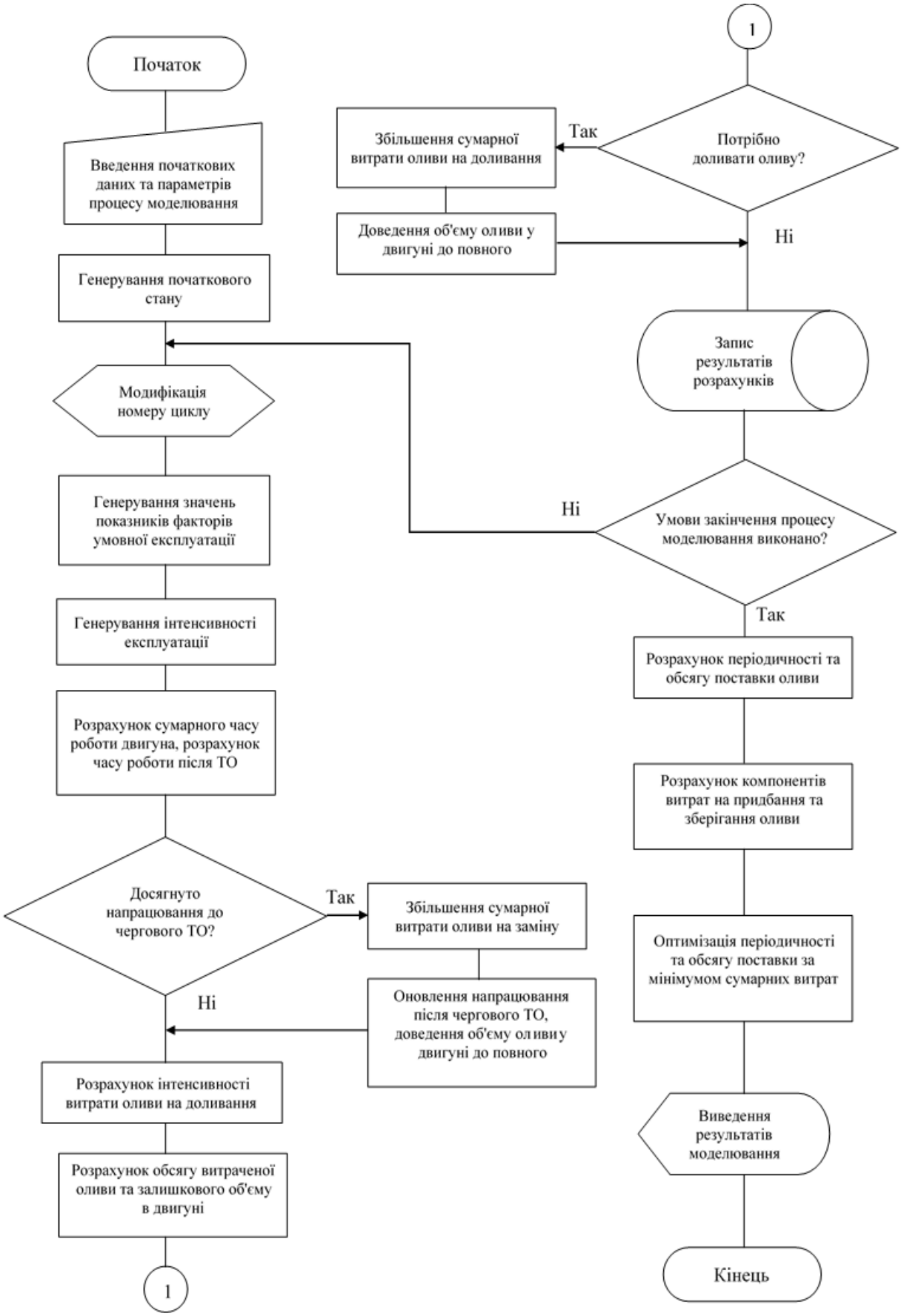


Рисунок 1 - Укрупнений алгоритм імітаційної моделі формування витрати моторної оливи при експлуатації автомобілів

Якщо умова не виконується, то результати розрахунку фіксуються.

Далі перевіряється умова закінчення процесу моделювання. Якщо вона не виконується, число лічильника циклів збільшують на одиницю і продовжують розрахунки відповідно до описаного циклу.

Якщо умова виконується, розраховується частота та обсяг постачання оливи, а також складові витрат на закупівлю та зберігання оливи. Далі оптимізується частота і обсяг подачі оливи при мінімумі сумарних витрат. Результати виводяться на екран і розрахунки зупиняються.

Список використаних джерел

1. Колосюк, Д. С., Зеркалов, Д. В. Експлуатаційні матеріали: Підручник. Київ: Арестей, 2006. - 260 с. 17.Антипенко, А. М., Сорокін, С. П., Поляков, С. О. Властивості та якість паливомастильних матеріалів. Харків : ЧП Червяк, 2006. - 213 с.

2. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні: властивості та якість. Підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Йосип Любінін, Казимир Лейда; за редакцією проф. С. Бойченка. – К.: «Центр учбової літератури», 2019. – 323 с.

3. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення./ Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 500 с.

4. Полякова О. В. Технологія виробництва мастильних матеріалів: навч. посібник / О. В. Полякова. – К.: НАУ, 2015. – 132 с.

5. Полянський, С. К., Коваленко, В. М. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин : Підручник. Київ : Либідь, 2005. - 504 с

6. Топільницький П.І. Фізико-хімічні там експлуатаційні властивості товарних нафтопродуктів. – Львів. – 1015. – 248 с.

7. Червінський Т.І, Топільницький П.І, Ярмола Т.І. Експлуатаційні матеріали для автотехніки. Навч.посібник. Львів: видавництво «Левада». 2020. – 326 с.

Слободяник Сергій Анатолійович **–** магістрант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: slobodianik@vntu.edu.ua

Крещенецький Володимир Леонідович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kvl1@meta.ua

Огневий Віталій Олександрович **–** к.е.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Ognevoy@ukr.net

Slobodianik Serhiy Anatoliyovych – Master's student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: slobodianik@vntu.edu.ua

Kreshchenetskyi Volodymyr Leonidovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvl1@meta.ua

Ognevoy Vitaliy Oleksandrovych – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Ognevoy@ukr.net

УДК 656.078:629.083

Є.В. Смирнов

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ НАДАННІ АВТОСЕРВІСНИХ ПОСЛУГ

Розглянуто проблему визначення оптимальної структури виробничо-технічної бази автотранспортного підприємства з урахуванням можливості надання ним автосервісних послуг. Запропоновано алгоритм, який дозволяє сформувати оптимальну структури виробничо-технічної бази як з умов мінімізації витрат на підтримання власного рухомого складу, так і з умов отримання прибутку від надання автосервісних послуг.

Ключові слова: *автотранспортне підприємство, виробничо-технічна база, автосервісні послуги, мінімізація витрат, прибуток.*

The problem of determining the optimal structure of the production and technical base of a motor transport enterprise, taking into account the possibility of providing car service services, is considered. An algorithm is proposed that allows forming the optimal structure of the production and technical base both from the conditions of minimizing the costs of maintaining its own rolling stock and from the conditions of obtaining profit from the provision of car service services.

Keywords: *motor transport enterprise, production and technical base, car service services, cost minimization, profit.*

Організаційно-виробнича структура комплексних автотранспортних підприємств (АТП) передбачає як надання транспортних послуг (основне виробництво), так і підтримку наявного рухомого складу в працездатному стані (допоміжне виробництво). Розукрупнення великих АТП, створених ще за радянських часів, призвела до надлишку потужностей власної виробничо-технічної бази (ВТБ), внаслідок чого ці виробничі потужності простоюють або використовуються не за призначенням, а ті потужності що використовуються за призначенням мають значний знос. З іншого боку поява великої кількості дрібних приватних перевізників, які мають погано розвинену ВТБ та виконують підтримку рухомого складу з порушенням технологічних норм, або не мають власної ВТБ взагалі, вимагає наявності розвиненої системи автосервісних послуг. Якщо легковий автосервіс в Україні є добре розвинутим, то розвиток системи автосервісу вантажних автомобілів і автобусів знаходиться на невисокому рівні.

Визначення оптимальної структури ВТБ зазвичай базується на мінімізації витрат на технічне обслуговування і ремонт автомобілів [1-3]. Проте традиційна організаційна структура комплексних АТП обмежує застосування сучасних підходів розвитку ВТБ та ускладнює організацію надання ними автосервісних послуг, що дозволило б отримати додатковий прибуток та підвищити ефективність власної ВТБ. Перехід до дивізіональної або матричної організаційної структури управління з утворенням виробничого підрозділу, який займається виключно експлуатацією рухомого складу, та виробничого підрозділу з надання автосервісних послуг, дозволить вирішити дану проблему [4-6]. При цьому взаємодія між цими підрозділами щодо виконання технічного обслуговування і ремонту власного рухомого складу повинна базуватися на принципах взаємовигідного співробітництва.

Таким чином задача визначення оптимальної структури ВТБ комплексного АТП як відокремленого автосервісного підрозділу, здатного надавати автосервісні послуги, полягає у забезпеченні оптимальної потужності ВТБ за рахунок найбільш раціонального використання наявних площі, робочих постів, сучасного технологічного обладнання, впровадження прогресивних технологічних процесів та методів управління. Визначення переліку робіт, які доцільно виконувати в умовах ВТБ такого автосервісного підрозділу, вимагає оцінки не тільки обсягів робіт по технічному обслуговуванню і ремонту власного рухомого складу, а також дослідження попиту на різні види робіт на ринку автосервісних послуг.

Для визначення оптимальної структури ВТБ комплексного АТП з урахуванням можливості надання ним автосервісних послуг в роботі розроблений алгоритм, представлений на рис. 1.

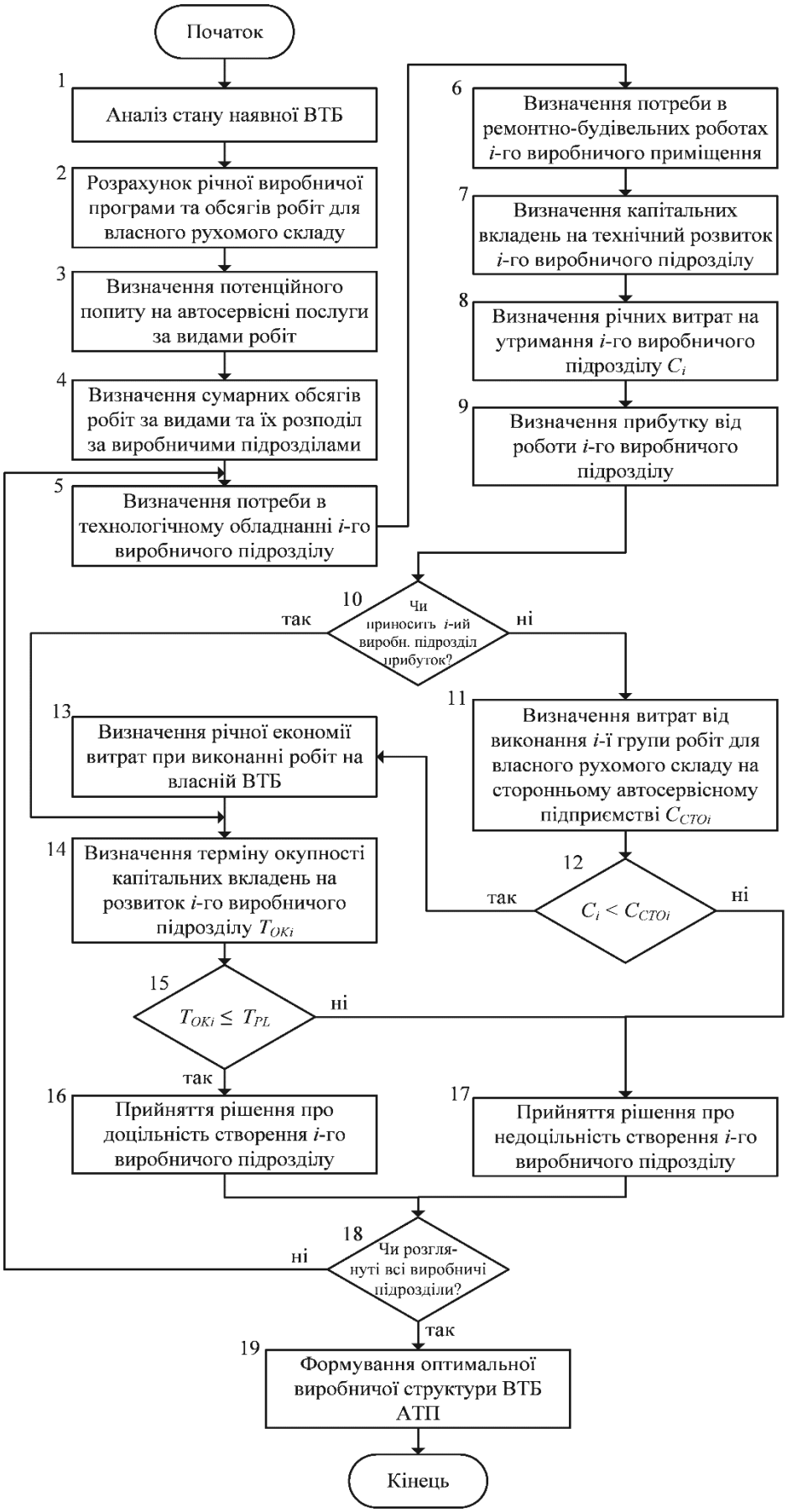


Рис. 1. Алгоритм формування оптимальної структури ВТБ комплексного АТП при наданні автосервісних послуг

В блоці 1 виконується аналіз фактичного стану ВТБ підприємства. Перш за все слід проаналізувати стан та забезпеченість виробничими потужностями для виконання технічного обслуговування і ремонту (забезпеченість виробничими постами, технологічним обладнанням, ступінь зносу тощо), площами виробничо-складських та інших приміщень, рівень організації та технологій, умови праці та вплив виробництва на навколишнє середовище. При аналізі характеристик основних будівель, споруд і виробничих приміщень особливу увагу варто звернути на відповідність планувальних рішень і габаритних розмірів приміщень зон технічного обслуговування і ремонту, вантажопідйомності наявного підйомно-оглядового обладнання, сітки колон тощо. Аналіз організації і технології робіт технічного обслуговування і ремонту проводиться з позицій відповідності сучасним вимогам науково-технічного прогресу, досягнутого в сфері технічної експлуатації автомобілів (використання новітніх технологій, засобів механізації та діагностування, методів організації тощо).

В блоках 2 – 4 виконується технологічний розрахунок виробництва з технічного обслуговування і ремонту для власного рухомого складу, визначаються обсяги робіт з надання автосервісних послуг та виконується попередній розподіл загального обсягу робіт за виробничими підрозділами. В якості розрахункового періоду доцільно прийняти один рік, оскільки така тривалість дозволяє врахувати сезонні коливання обсягів перевезень, крім того протягом року підприємства роблять усі можливі види відрахувань і за підсумками року можна максимально точно оцінити їх величину.

В блоках 5 – 7 відбувається формування необхідного переліку технологічного обладнання та обсягів ремонтно-будівельних робіт для *i*-го виробничого підрозділу; розраховуються обсяги капітальних вкладень на технічний розвиток даного виробничого підрозділу.

В блоці 8 визначаються річні витрати на виконання планового обсягу робіт в *i*-му виробничому підрозділі (C_i). В блоці 9 визначається прибуток *i*-го виробничого підрозділу при наданні автосервісних послуг. При цьому на даному етапі прибуток слід розраховувати виходячи з такого: при розрахунку доходів від надання автосервісних послуг стороннім організаціям за основу розрахунку слід приймати середньоринковий тариф на даний вид робіт, а при розрахунку доходів від виконання обслуговування та ремонту власного рухомого складу за основу розрахунку слід приймати собівартість виконання робіт.

Блок 10 перевіряє умову прибутковості роботи *i*-го виробничого підрозділу. Якщо підрозділ є прибутковим, то управління передається на блок 14. Якщо підрозділ є збитковим, то управління передається на блок 11, де визначаються витрати на виконання *i*-ї групи робіт з обслуговування і ремонту власного рухомого складу на сторонньому автосервісному підприємстві (C_{CTOi}).

Блок 12 перевіряє умову доцільності виконання *i*-ї групи робіт з обслуговування і ремонту власного рухомого складу на ВТБ АТП або стороннім автосервісним підприємством за критерієм мінімізації витрат. Тобто якщо $C_i < C_{CTOi}$, створення відповідного виробничого підрозділу все ще може бути доцільним, а управління передається на блок 13, де визначається річна економія витрат при виконанні робіт на власній ВТБ. Якщо ж дана умова не виконується, то управління передається на блок 17, де приймається рішення про недоцільність створення *i*-го виробничого підрозділу.

В блоці 14 виконуються всі необхідні розрахунки для визначення терміну окупності капітальних вкладень на розвиток ВТБ *i*-го виробничого підрозділу (T_{OKi}). Далі в блоці 15 перевіряється умова, чи розрахований термін окупності не перевищує заданий на перед граничний термін окупності інвестицій (T_{PL}). Якщо умова $T_{OKi} < T_{PL}$ виконується, то управління передається на блок 16, де приймається рішення про доцільність створення *i*-го виробничого підрозділу. Якщо ж умова не виконується, то в блоці 17 приймається рішення про недоцільність створення *i*-го виробничого підрозділу.

Блок 18 перевіряє, чи проведені розрахунки за всіма виробничими підрозділами. Якщо всі розрахунки виконано, в блоці 19 формується оптимальна виробнича структура ВТБ АТП та вказується можливість надання підприємством автосервісних послуг.

Висновок. Типова організаційна структура комплексних АТП обмежує їх здатність ефективно використовувати можливості ВТБ надавати автосервісні послуги. Перехід до дивізіональної або матричної структури управління дозволить покращити управління розвитком

АТП в цілому та використання ВТБ як для обслуговування власного рухомого складу, так і для надання автосервісних послуг.

Розроблено алгоритм визначення оптимальної структури ВТБ комплексного АТП з урахуванням можливості надання підприємством автосервісних послуг. Доцільність створення виробничого підрозділу в першу чергу визначається на основі прибутку від надання послуг. Для неприбуткових підрозділів, перевіряється умова мінімізації витрат на виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту власного рухомого складу на ВТБ АТП. В умовах обмеженості обсягів капітальних вкладень алгоритм дозволяє виявити неефективні виробничі підрозділи за критерієм терміну окупності капітальних вкладень.

Список використаних джерел

1. Канарчук В.Є., Курніков І.П., Савін Ю.Х., Андрусенко С.І. Розвиток виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту. К.: ІСДО, 1995. 220 с.

2. Савін Ю.Х., Митко М.В. Доцільність створення виробничих підрозділів з обслуговування та ремонту автомобілів. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Вип. 1 (34), 2016. С. 424-429.

3. Біліченко В.В., Смирнов Є.В. Стратегії технічного розвитку автотранспортних підприємств: монографія. Вінниця : ВНТУ, 2019. 144 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Bilichenko_2019_144.pdf.

4. Гордієнко Л. Ю. Управління організаційними трансформаціями: теоретико-методолічні засади та управлінський інструментарій : монографія / Л. Ю. Гордієнко. – Харків : вид. ХНЕУ, 2011. – 440 с.

5. Петренко С.А. Порівняльний аналіз моделей організаційних структур підприємства. // Бюлетень Міжнародного Нобелівського економічного форуму. 2010. № 1 (3). Том 2. С. 245-252,

6. Смирнов Є.В., Огневий В.О. Перспективи розвитку виробничо-технічної бази автотранспортних підприємств на основі надання автосервісних послуг // Матеріали VII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 8-10 квітня 2019 року : Збірник наукових праць. – Вінниця, 2019. – с. 120-121. URL: https://atmconf.vntu.edu.ua/materialy2019.pdf.

Смирнов Євгеній Валерійович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: zhekasmirnov@vntu.edu.ua.

Smyrnov Yevhenii Valeriiovych **–** PhD (Eng.), Docent, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: zhekasmirnov@vntu.edu.ua.

УДК 629.3

О.П. Смирнов, А.О. Борисенко

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ПІДКЛЮЧЕННІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ДО ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ

Метою дослідження є підвищення ефективності електромобілів за допомогою використання Інтернету транспортних засобів. Доведено, що Інтернет транспортних засобів є критичним компонентом інтелектуальних транспортних систем. Наведений приклад використання Інтернету транспортних при підключенні електромобіля до зарядної станції та до електричної мережі.

***Ключові слова**: акумуляторна батарея, електромобіль, Інтернет транспортних засобів, інтелектуальна транспортна система, зарядна станція, технологія V2G*

The aim of the research is to improve the efficiency of electric vehicles by using the Internet of Vehicles. It is proven that the Internet of Vehicles is a critical component of intelligent transport systems. An example of using the Internet of Vehicles when connecting an electric vehicle to a charging station and to the electrical grid is given.

***Keywords**: battery, electric vehicle, Internet of Vehicles, intelligent transportation system, charging station, V2G technology*

Сучасна автомобільна промисловість, прогрес у сенсорних і бездротових комунікаційних технологіях, підключених та автономних транспортних засобів, що обладнані сучасними датчиками та технологіями вдосконалених систем допомоги водієві, а також зростаюча потреба в широкому доступі до передових інтелектуальних транспортних системах призвела до еволюції звичайних парадигм технологій від електромобіля до всієї інтелектуальної транспортної системи V2X (англ. Vehicle to Everything, V2X) в Інтернет транспортних засобів IoV (англ. Internet of Vehicles, IoV). Інтернет транспортних засобів IoV – це бездротова мережа, яка використовує Інтернет-протоколи та транспортні спеціальні мережі VANET (Vehicular Ad-hoc Networks, VANET) для обміну інформацією між транспортними засобами та інфраструктурою.

Інтернет транспортних засобів IoV наступного покоління встановлює безперебійні зв’язки між людьми, людей, розумними системами, гетерогенними мережами, транспортними засобами, дорожньою інфраструктурою, пристроями Інтернету речей IoT (англ. Internet of Things, IoT) і сервісними платформами для підвищення ефективності транзиту, безпеки дорожнього руху та збереження навколишнього середовища з значними досягненнями в технологіях IoV, зокрема в безпечному обміні даними та конфіденційності користувачів. Щоб вирішити проблеми з безпекою, у дослідженні [1] запропоновано безпечну й легку структуру збору та обміну даними для розумного транспортування з підтримкою 6G під назвою IoV-6G+. Запропонований IoV-6G+ демонструє нижчі споживання енергії, обчислювальні та комунікаційні витрати, а також розширені функції безпеки порівняно з існуючими рамками автентифікації. У дослідженні [2] інтеграція 6G і Інтернету транспортних засобів IoV створює стійку трирівневу безпечну структуру, яка включає транспортний засіб, мережу й прикладний рівень. Така структура є комплексним рішенням для безпечного обміну даними між хмарним середовищем і транспортними засобами, забезпечуючи конфіденційність даних.

Використання IoV при підключенні електромобіля до зарядної станції та до електричної мережі за технологією V2G (англ. Vehicle-to-Grid, V2G) відбувається, наприклад:

- віддалений контроль стану та режимів роботи акумуляторної батареї електромобіля за допомогою смартфона;
- програмування раціонального часового інтервалу зарядження/розрядження акумуляторної батареї електромобіля;
- моніторинг енергоспоживання та вигоди від технології V2G;
- інтеграція в систему «розумний будинок», який в свою чергу через Інтернет транспортних засобів підтримує постійний зв'язок з «розумними мережами» та «розумним містом».

Приклад використання Інтернету транспортних засобів при підключенні електромобіля до зарядної станції та до електричної мережі за технологією V2G наведений на рисунку 1.

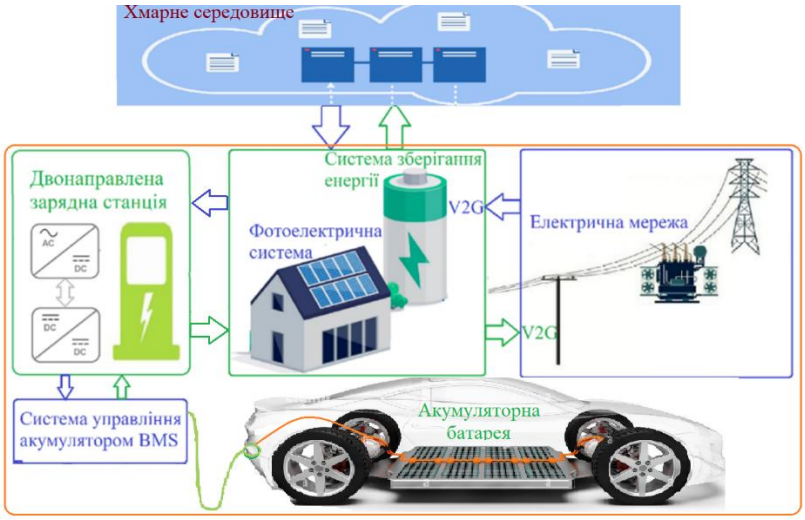


Рисунок 1 – Приклад використання Інтернету транспортних засобів при підключенні електромобіля до зарядної станції та до електричної мережі за технологією V2G

Для застосувань технології від електромобіля до електричної мережі V2G необхідно застосовувати двонаправлені зарядні станції, що включають двонаправлені DC/DC та DC/AC перетворювачі [3].

Використання Інтернету транспортних засобів для управління енергією акумуляторних батарей електромобілів у процесі заряджання/розряджання полягає в раціональної активації акумулятора в ідеальний час за індивідуальним розкладом так, щоб автоматично вночі відбувалась заряджання акумуляторної батареї за низьким тарифом, а вдень, якщо необхідно, накопичена електрична енергія віддавалась назад в електричну мережу за підвищеним тарифом.

Переваги використання Інтернету транспортних засобів підвищують ефективність використання акумуляторних батарей електромобілів при їх підключенні до зарядної станції та до електричної мережі за рахунок раціональної стратегії для заряджання/розряджання батареї в різних часових масштабах, допомогу електричної мережі в періоди пікового навантаження, зниження витрат на споживання енергії, інтеграція в систему «розумний будинок».

Список використаних джерел

1. Kumar V., Ali R., Sharma P. K. IoV-6G+: A Secure Blockchain-Based Data Collection and Sharing Framework for Internet of Vehicles in 6G-assisted Environment. Vehicular Communications. 2024. P. 100783. URL: https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2024.100783 (date of access: 08.10.2025).
2. Karthikeyan N., Shanthi S. Three-Tier approach to fortifying secure communication in Internet of vehicles networks. Ain Shams Engineering Journal. 2024. P. 103087. URL: https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103087 (date of access: 08.10.2025).
3. Smyrnov O., Borysenko A., Trunova I. Development of Vehicle-to-Grid in Ukraine. Transport Means. 2024. URL: https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.p503-506 (date of access: 08.10.2025).

Смирнов Олег Петрович **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com

Борисенко Анна Олегівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобільної електроніки автомобільного факультету, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, e-mail: anutochka2111@gmail.com

Smirnov Oleh P. **–** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automotive Electronics, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com

Borysenko Anna **O.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automotive Electronics, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: anutochka2111@gmail.com

УДК 658.56:005.94:656.078.8

Л.Л. Сніжко

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СЕРВІСНИХ ПРОДУКТІВ В ОПЕРАЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Досліджено актуальні проблеми управління якістю транспортно-логістичних послуг в умовах складного динамічного зовнішнього середовища, що створює безпрецедентні виклики та загрози для підприємств транспортної галузі. В умовах воєнного стану якість транспортно-логістичних послуг набуває критичного значення, забезпечуючи стійкість ланцюгів постачання, оперативність доставки життєво важливих вантажів і підтримку життєдіяльності країни. Ефективне управління якістю, яке є ключовим інструментом для виживання та сталого розвитку транспортно-логістичних підприємств в таких умовах, суттєво залежить від наявності інформаційного забезпечення відповідно до потреб.

***Ключові слова**: інформаційне забезпечення, інформація, сервісний продукт, операційна діяльність, транспортно-логістичне підприємство, управління якістю, якість транспортно-логістичних послуг.*

The current problems of managing the quality of transport and logistics services in the conditions of a complex dynamic external environment, which creates unprecedented challenges and threats for enterprises in the transport industry is considered. In conditions of martial law, the quality of transport and logistics services becomes critical, ensuring the stability of supply chains, the efficiency of delivery of vital cargo and supporting the country's vital activities. Effective quality management, which is a key tool for the survival and sustainable development of transport and logistics enterprises in such conditions, significantly depends on the availability of information support in accordance with needs.

***Keywords:** information support, information, service product, operational activities, transport and logistics enterprise, quality management, quality of transport, and logistics services.*

Транспортна система країни, як у мирний час, так і в умовах війни є однією із найважливіших ланок економіки, яка сприяє виживанню, сталому розвитку та стійкості держави. Ключовим аспектом залишається безпека усіх учасників транспортних операцій, вантажів та критичної інфраструктури. Систематичне та своєчасне інформаційне забезпечення дозволяє своєчасно приймати рішення, які мінімізують можливі загрози та негативні наслідки в складних та непередбачуваних умовах. Водночас обмеженість ресурсів, таких як паливо, транспортні засоби, фінанси й трудові ресурси, ускладнює оптимізацію транспортних процесів. Завдяки ефективному збору, обробці та аналізу інформації можливо раціонально розподіляти наявні ресурси, що дозволить підвищити якість транспортних послуг в складних зовнішніх умовах. В умовах воєнного стану через значні виклики і загрози зовнішнього середовища, що постають перед транспортною галуззю країни своєчасна та достовірна інформація стає необхідною основою для прийняття рішень, спрямованих на підвищення стійкості, надійності та ефективності транспортно-логістичної системи України.

Концепції управління якістю існують вже десятиліттями і постійно вдосконалюються. Так, починаючи з 1970-х років якість стала ціллю для більшості організацій у світі. Багато американських фірм витратили мільйони доларів на діяльність щодо забезпечення якості, щоб досягти бездефектного виробництва. Однак ці концепції лише відносно нещодавно були успішно застосовані в логістичних середовищах [31]. Тому на сьогодні не на всіх українських автотранспортних підприємств належним чином налагоджена робота по управлінню якістю. Аналіз діяльності українських транспортно-логістичних підприємств щодо управління якістю показав, що вона, якщо і здійснюється, то має значні недоліки з ряду причин: неефективна структура підрозділів, задіяних в управлінні якістю; недосконало розподілені функціональні обов'язки між працівниками, відсутність належного документообігу та інформаційного взаємозв'язку між відділами, недостатня кваліфікація фахівців, а також недостатність методичних, матеріально-технічних, фінансових, інформаційних та інших ресурсів.

Сучасне складне, динамічне і непередбачуване зовнішнє середовище, в якому функціонує економіка України, вимагає від суб'єктів підприємницької діяльності і особливо транспортної галузі з метою їх самозбереження, продуктивної роботи неодмінного пристосування до його змін.

Як відомо, адаптація будь-яка системи полягає у вчасному реагуванні на виклики і загрози зовнішнього середовища. Подолання невизначеності та ризиків зовнішніх умов можливо лише на основі своєчасного використання отриманої релевантної і достовірної інформації як про стан об'єкта управління, так і про його взаємодію із цим середовищем. Це у повній мірі стосується і процесу управління якістю транспортно-логістичних послуг.

Сучасні транспортно-логістичні компанії для повного задоволення потреб клієнтів, прагнуть забезпечити найвищий рівня якості своїх сервісних продуктів у процесі реалізації операційної функції. Потреби в сфері управління якістю визначаються необхідністю забезпечення ефективного та сталого процесу надання послуг або виробництва продукції, що відповідає вимогам стандартів і очікуванням споживачів. Для організацій важливо зрозуміти, які саме аспекти якості потребують уваги, щоб підтримувати і конкурентоспроможність сервісної продукції, і задоволення клієнтів. З цією метою суб'єкти господарювання формують різні потреби в сфері управління якістю [32]. Такими потребами можуть бути:

– розробка і впровадження нової або удосконалення існуючої системи управління якістю, яка включає процеси планування, контролю, оцінки та покращення якості послуг відповідно до вимог клієнтів та стандартів якості;

– розробка стандартів якості для продукції або послуг, які дозволяють забезпечити відповідність вимогам клієнтів і нормативним стандартам;

– розробка внутрішніх нормативних актів і впровадження міжнародних стандартів серії сімейства ISO 9001 та інших;

– забезпечення гнучкості систем управління якістю відповідно до нових вимог і тенденцій на ринку, що дозволить організації швидко реагувати на зміни та адаптувати управлінські процеси відповідно до нових ринкових та споживчих вимог;

– забезпечення процесу управління якістю сервісних продуктів оптимальною релевантною інформацією;

– постійне удосконалення якості існуючих та розроблення нових сервісних продуктів згідно вимог споживачів та транспортної компанії;

– постійне навчання та підвищенні кваліфікації, мотивації співробітників в сфері управління якістю, а також створення механізму для обміну досвідом і найкращими практиками між працівниками на горизонтальному та вертикальному рівнях організації;

– розробка та впровадження системи моніторингу та оцінки показників якості послуг, для вчасного виявлення і виправлення слабких місць, недоліків у роботі компанії та можливостей для підвищення рівня задоволеності клієнтів;

– впровадження нових технологій та інновацій при розробці нових й удосконаленні наявних сервісних продуктів, операційних процесів та програмного забезпечення для моніторингу рівня якості продукції, що дозволяє стандартизувати операційні процеси, зменшити операційні витрати та ймовірність людської помилки;

– впровадження механізму зворотного зв'язку та його аналізу для вимірювання рівня задоволення клієнтів залежно від їх вимог, що дозволяє як оперативно реагувати на виявлені проблеми, такі і коригувати стратегію управління якістю;

– впровадження системи раннього попередження негативних наслідків для якості сервісної продукції та планування заходів уникнення потенційних ризиків або принаймі зменшення впливу негативних наслідків на якість продукції;

– забезпечення інтеграції менеджменту якості з іншими функціональними видами менеджменту на основі формування оптимального інформаційного обміну між працівниками щодо забезпечення якості сервісної продукції, що дозволяє комплексно підходити до вирішення проблем;

– забезпечення результативності та ефективності процесу управління якістю транспортної продукції, його аналіз тощо.

Наведені потреби в сфері управління якістю зосереджуються на забезпеченні стабільної та ефективної діяльності організації, здатної не тільки відповідати стандартам якості, а й постійно удосконалювати операційні процеси. Розуміння і задоволення цих потреб є запорукою досягнення високих результатів та підтримання конкурентоспроможності на ринку а також досягненням цілей в галузі управління якістю транспортно-логістичного підприємства.

Серед потреб щодо управління якістю інформаційне забезпечення є ключовим, адже є основою для побудови ефективної системи управління якістю в операційній діяльності транспортно-логістичних підприємств, адже без своєчасної, достовірної та релевантної інформації прийняття оптимальних рішень в будь-якій сфері є неможливим [2]. Тому транспортно-логістичним компаніям важливо мати ефективні системи для збору, обробки і зберігання даних щодо якості, зокрема про операційні процеси, сервісні продукти, інфраструктуру, персонал, систему управління якості, клієнтів та інші дані. Належне інформаційне забезпечення транспортної компанії створюється та удосконалюється на основі визначених інформаційних потреб. Інформаційні потреби транспортно-логістичного підприємства можна охарактеризувати в розрізі чотирьох основних функцій управління: планування якості (quality planning), забезпечення якості (quality assurance), контроль якості (quality control), підвищення якості (quality improvement) [3].

Для управління якістю транспортно-логістичних послуг важливо мати повний спектр інформації, що охоплює всі аспекти транспортного процесу - від характеристик вантажу до оцінки ефективності операцій, витрат і безпеки. Це дозволяє своєчасно реагувати на можливі проблеми, забезпечувати стабільність процесів і підтримувати високий рівень обслуговування клієнтів. Вся ця інформація необхідна також і для того, щоб розробити стратегію для підвищення ефективності й якості обслуговування клієнтів транспортно-логістичних компаній.

В залежності від особливостей зовнішнього і внутрішнього середовищ функціонування транспортно-логістичних компаній, наявних матеріально-технічних, фінансових та трудових ресурсів суб'єкт господарювання обирає певну сукупність інформації, яка може бути необхідна для прийняття своєчасних та достовірних рішень щодо забезпечення якості транспортно-логістичних послуг. На основі визначених потреб в інформації створюються бази даних управління якістю сервісних продуктів (БДУЯ). Однією з головних вимог до цих баз є забезпечення повного задоволення інформаційних потреб апарату управління на всіх рівнях у сфері якості при реалізації операційної функції. Такі інформаційні масиви повинні ефективно, результативно та продуктивно здійснювати формування, накопичення, обробку, систематизацію та надання користувачам даних у необхідні терміни, у потрібному обсязі, відповідно до вимог, що до них пред'являються. БДУЯ створюються на основі доступної внутрішньої та зовнішньої інформації, включаючи результати маркетингових досліджень про об'єкт управління: дані про його поточний стан, зовнішнє та внутрішнє середовище, реакцію об'єкта на управлінські впливи, прогнозовані зміни внаслідок прийнятих рішень, а також доступні операційні ресурси.

Список використаних джерел

1.Важливість управління якістю для логістичних організацій. URL: https://knowledge.bsigroup.com/articles/the-importance-of-quality-management-for-logistics-organizations

2. Сніжко Л.Л. Інформаційне забезпечення управління якістю сервісних продуктів в операційній діяльності транспортно-логістичних підприємств. *Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*. Київ: НТУ, 2024. Вип. 116.2. С. 306-323. URL:https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-116.2-306-323.

3.Сніжко Л.Л. Управління якістю сервісних продуктів в операційній діяльності транспортно-логістичних підприємств. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ: НТУ, 2023. Вип. 114.2. С. 269-284. URL:https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-114.2-269-284.

Сніжко Лариса Леонідівна – к. е. н, доцент, доцент кафедри «Менеджмент» Національного транспортного університету, м. Київ, e-mail:: larasn14@gmail.com

Larisa Snizhko - Ph.D. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management, National Transport University, Kyiv, e-mail:: larasn14@gmail.com

УДК 621.863.2

О.С. Стадник, С.В. Морозюк, В.С. Кушнірук

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛІЗУ МОТОРНОЇ ОЛИВИ

У роботі представлені результати рентгенофлуоресцентного аналізу свіжої та відпрацьованих моторних олив, отриманих при експлуатації бензинового двигуна внутрішнього згорання у осінньо-зимовий та весняно-літній періоди. Накопичення заліза у моторній оливі бензинового двигуна у 2,1–2,9 рази менше ніж у дизельному. При експлуатації двигуна у холодний період накопичення заліза у моторній оливі зростає на 28 %.

Ключові слова: *моторна олива, зольність, рентгенофлуоресцентний аналіз, двигун внутрішнього згорання, тертя*

The paper presents the results of X-ray fluorescence analysis of fresh and used motor oils, which were obtained during the operation of a gasoline internal combustion engine in the autumn-winter and spring-summer periods. The accumulation of iron in the engine oil of a gasoline engine is 2.1–2.9 times less than in a diesel engine. When the engine is operated in the cold period, the accumulation of iron in motor oil increases by 28%.

Key words: *motor oil, ash content, X-ray fluorescence analysis, internal combustion engine, friction*

Оцінка технічного стану двигуна внутрішнього згорання за хімічним складом моторної оливи є ефективним засобом діагностики, що не вимагає його розбирання, і допомагає виявити проблеми ще до появи сторонніх звуків при його роботі. Хімічний склад оливи, зокрема концентрація мінеральних компонентів, дає важливу інформацію про внутрішнє зношування основних пар тертя двигуна внутрішнього згорання.

Гранична масова частка металів, що є продуктами зношення, у моторній оливі бензинового двигуна внутрішнього згорання, при якій рекомендована її заміна становить: для Fe – до 300 ppm, Cu – до 75 ppm, Cr – до 40 ppm, Al – до 40 ppm [1].

Дослідження хімічного складу мінеральної частини відпрацьованої моторної оливи дизельних двигунів внутрішнього згорання методом спектрального аналізу виконані у роботах [2, 3], показали можливість використання цього методу для оцінки залишкового ресурсу і технічного стану двигуна. Більшість цих досліджень присвячені аналізу роботи дизельних двигунів внутрішнього згорання, тому у роботі виконано аналіз моторної оливи двигуна внутрішнього згорання з примусовим запалюванням, що працює на бензині А-95.

Метою роботи є оцінка роботи бензинового двигуна внутрішнього згорання з використанням рентгенофлуоресцентного аналізу мінеральної частини вихідної та відпрацьованої моторної оливи, що дає можливість оцінити інтенсивність зношення у основних парах тертя та технічний стан двигуна.

Результати дослідження. Для досліджень були відібрані зразки свіжої та відпрацьованої моторної оливи ELF 5W-40 900 SXR (повнозольна класу A3/B4), що відпрацювала на бензиновому двигуні внутрішнього згорання Renault K7J 710 1,4 MPI автомобіля Dacia Sandero у осінньо-зимовий та весняно-літній періоди. Інтервал пробігу у осінньо-зимовий період – 175024–185009 км (9985 км), у весняно-літній – 185009–195027 км (10018км). Для обох зразків був виконаний аналіз зольності за стандартною методикою. Зразки золи були подрібнені до крупності менше 100 мкм та проаналізовані на рентгенофлуоресцентному аналізаторі EXPERT 3L. Отримані результати з визначення зольності свіжої та відпрацьованої моторних олив та хімічних складів золи наведені у табл. 1.

Зниження зольності моторної оливи після відпрацювання виникає за рахунок спрацювання присадок, що простежується по зниженню масової частки кальцію, цинку та фосфору. Також можливе часткове розрідження оливи за рахунок потрапляння у картер двигуна важких фракцій бензину та конденсації пари.

У відпрацьованій моторній оливі спостерігається збільшення масових часток заліза та міді, що є продуктами зношення. У весняно-літній період експлуатації спостерігається менше накопичення заліза у моторній оливі ніж у осінньо-зимовий, що пов’язано з більш складними

умовами роботи двигуна внутрішнього згорання при запуску у холодний період, особливо під час морозів. При експлуатації двигуна у холодний період накопичення заліза у моторній оливі зростає на 28,0 %.

Таблиця 1 – Зольність та хімічний склад золи свіжої та відпрацьованої моторної оливи

	Свіжа моторна олива		Відпрацьована моторна олива (пробіг 175024–185009 км)		Відпрацьована моторна олива (пробіг 185009–195027 км)	
Зольність, %	0,845		0,794		0,806	
Назва елементу	Масова частка у золі, %	Масова частка у моторній оливі, ppm	Масова частка у золі, %	Масова частка у моторній оливі, ppm	Масова частка у золі, %	Масова частка у моторній оливі, ppm
Ca	26,98	2280,1	23,09	1833,4	20,20	1627,9
Zn	18,81	1589,8	17,47	1387,1	17,68	1425,2
P	11,85	1001,2	11,54	916,1	11,80	951,1
S	4,45	375,9	3,69	293,1	2,81	226,6
Fe	0,771	65,1	1,534	121,8	1,314	105,9
Si	0,278	23,5	0,617	49,0	0,387	31,2
Cu	0,000	0,0	0,088	7,0	0,137	11,1

Не зважаючи на значний ресурс роботи двигуна внутрішнього згорання Renault K7J 710 1,4 MPI автомобіля Dacia Sandero зношення є рівномірним. У порівнянні з попередніми дослідженнями [3] накопичення продуктів зношення, зокрема заліза, у моторній оливі бензинового двигуна внутрішнього згорання у 2,1–2,9 разу менше ніж у дизельному.

Отже, рентгенофлуоресцентний аналіз мінеральної частини моторної оливи може бути використаний для оцінки технічного стану двигуна внутрішнього згорання та аналізу режиму його роботи при різних сезонних умовах.

Список використаних джерел

1. How To Assess Wear Problems Using Oil Analysis / Machinery Lubrication. URL: https://www.machinerylubrication.com/Read/653/wear-oil-analysis (дата звернення 10.10.2025)

2. Федоряченко С. О., Зіборов К. А., Луценко І. М., Перков Є. С., Холодов А. П. Застосування спектрального аналізу моторного мастила для прогнозування залишкового ресурсу двигунів. *Вісник ХНАДУ*. Вип. 95. Харків : ХНАДУ, 2021. С. 138–142

3. Stadnyk O. Diagnostics of internal combustion engines by the chemical composition of used motor oil. *Science, Trends and Realities : Current Trends and Development* : book of abstracts of Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference (Krakow, Poland, May 27–30, 2025). Krakow, Poland, 2025. P. 233-235.

Стадник Олександр Святославович – к.т.н., доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, провідний інженер-технолог НВФ «Продекологія», o.s.stadnyk@nuwm.edu.ua.

Морозюк Сергій Володимирович – старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, s.v.moroziuk@nuwm.edu.ua.

Кушнірук Владислав Сергійович – студент спеціальності «Автомобільний транспорт» магістерського рівня, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, kushniruk_m22@nuwm.edu.ua.

Oleksandr Stadnyk – PhD (Eng.), associate professor of Automobile and Automobile Industry Department, Institute of Mechanics, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, leading technological engineer, SMF "Prodecologia", o.s.stadnyk@nuwm.edu.ua

Morozyuk Serhiy – senior lecturer of Automobile and Automobile Industry Department, Institute of Mechanics, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, s.v.moroziuk@nuwm.edu.ua

Kushniruk Vladyslav – student of specialty "Automobile transport" at the master's level, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, kushniruk_m22@nuwm.edu.ua.

УДК 711.73:656.11

О.В. Степанчук, О.С. Чернишова

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТ

Розглянуто сучасні проблеми функціонування вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міст в умовах зростання рівня автомобілізації та інтенсивності транспортних потоків. Обґрунтовано необхідність багатофакторного підходу до оцінювання ефективності транспортної інфраструктури з урахуванням транспортно-експлуатаційних, соціально-економічних, безпекових, екологічних та містобудівних критеріїв. Визначено їхнє значення для забезпечення сталого розвитку міського середовища, підвищення мобільності населення та зменшення негативного впливу транспорту.

Ключові слова: *вулично-дорожня мережа; ефективність транспортної системи; критерії оцінювання; оптимізація; громадський транспорт; інтелектуальні транспортні системи; сталий розвиток міста.*

The paper examines contemporary challenges in the functioning of urban street and road networks (SRN) under conditions of increasing motorization levels and rising traffic flow intensity. The necessity of a multifactor approach to evaluating the efficiency of transport infrastructure is substantiated, taking into account transport-operational, socio-economic, safety, environmental, and urban planning criteria. Their significance is determined for ensuring sustainable development of the urban environment, enhancing population mobility, and reducing the negative impact of transport.

Keywords: *street and road network; transport system efficiency; evaluation criteria; optimization; public transport; intelligent transport systems; sustainable urban development.*

Сучасний розвиток міст супроводжується інтенсивним зростанням рівня автомобілізації, що призводить до значного навантаження на вулично-дорожню мережу (ВДМ). Обмеженість територіальних ресурсів, збільшення транспортних потоків та ускладнення умов руху зумовлюють виникнення заторів, підвищення аварійності, зниження швидкості пересування та погіршення екологічної ситуації в міському середовищі. За таких умов питання підвищення ефективності функціонування ВДМ набуває особливої актуальності.

Розроблення критеріїв оцінювання ефективності роботи вулично-дорожньої мережі та визначення напрямків її оптимізації є необхідною передумовою для раціонального використання наявних ресурсів та забезпечення стійкого розвитку міських транспортних систем. У світовій та вітчизняній практиці застосовуються різні підходи до оцінки функціонування ВДМ, проте їх інтеграція з урахуванням соціально-економічних, просторових та екологічних чинників потребує подальшого наукового опрацювання.

Вулично-дорожня мережа є основним елементом міської транспортної інфраструктури, від якого залежить функціонування всіх інших міських систем [1]. Саме її стан визначає якість і швидкість пересування пасажирів та вантажів, формує економічний потенціал міста і створює передумови для збалансованого розвитку території. Зростання рівня автомобілізації в сучасних українських містах призвело до того, що наявні міські магістральні вулиці працюють на межі своїх можливостей. Це спричиняє перевантаження перехресть та перегонів вулиць, виникнення заторів, зростання аварійності та підвищені екологічні ризики. За таких умов дослідження критеріїв і напрямів оптимізації вулично-дорожньої мережі набуває особливої актуальності [2].

Ефективність функціонування транспортної системи міста не можна визначати лише за одним показником. Вона має оцінюватися на основі системи багатофакторних критеріїв, що охоплюють транспортно-експлуатаційні, соціально-економічні, екологічні, містобудівні критерії та критерії безпеки [3].

Критерії ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі (ВДМ) – це система показників, за допомогою яких оцінюють, наскільки раціонально, безпечно й економічно працює транспортна інфраструктура міста. Вони дозволяють встановити рівень відповідності роботи мережі потребам пасажирів, перевізників і суспільства в цілому.

Транспортно-експлуатаційні критерії відображають технічний стан і здатність вулично-дорожньої мережі забезпечувати рух транспортних засобів у заданому режимі. Основними

показниками є пропускна спроможність, середня швидкість руху, рівень завантаженості та час поїздки. Висока пропускна спроможність означає можливість безперебійного пересування значної кількості автомобілів. Середня швидкість руху визначає комфортність і ефективність поїздок, а також прямо впливає на витрати палива та екологічний стан. Надійність міського руху характеризує стабільність часу поїздки незалежно від пори доби чи погодних умов. Аналіз цих показників дозволяє визначити "вузькі місця" у транспортній системі міста. Без належного рівня оцінки транспортно-експлуатаційних показників міська вулично-дорожня мережа втрачає свою основну функцію – забезпечення мобільності.

Соціально-економічні критерії характеризують ефективність роботи дорожньої мережі з точки зору суспільних вигод і витрат. Найважливішим є час, який витрачає населення на пересування. Чим менше часу й коштів витрачають люди на поїздки, тим вищою є ефективність мережі. Вартість перевезень є важливим чинником як для пасажирів, так і для підприємств, оскільки вона впливає на доступність транспортних послуг. Сукупні економічні витрати суспільства включають утримання інфраструктури, ремонт, енерговитрати та втрати від заторів. Доступність транспортної мережі визначає можливість населення швидко діставатися до місця роботи, навчання чи соціальних об’єктів.

У сучасних умовах транспортні системи повинні відповідати принципам інклюзивності, забезпечуючи також доступ для маломобільних груп населення. Аналіз соціально-економічних критеріїв вказує на взаємозв’язок транспорту з розвитком економіки та якістю життя людей. Ефективна вулична мережа підвищує продуктивність праці населення та стимулює розвиток територій міста. Таким чином, значення цієї групи критеріїв полягає у підвищенні добробуту суспільства та забезпеченні сталого розвитку.

Безпекові критерії оцінюють рівень ризику для учасників дорожнього руху. Найбільш показовим є рівень аварійності – кількість ДТП, загиблих та постраждалих. Безпека пішоходів і велосипедистів має особливе значення, оскільки ці учасники є найуразливішими. Відповідність мережі нормативам видимості, освітлення та організації руху напряму впливає на кількість аварій. Дорожня інфраструктура має бути такою, щоб знижувати можливості для помилок водіїв і сприяти зручному пересуванню. Аналіз безпекових критеріїв дозволяє визначати найбільш небезпечні ділянки й потребу в реконструкції. Зниження аварійності веде до збереження життя й здоров’я населення та зменшення економічних збитків. Надійна система безпеки також стимулює використання альтернативних видів транспорту – велосипедного та пішохідного. Важливим є також контроль за дотриманням правил дорожнього руху та впровадження інтелектуальних систем моніторингу. Значення безпекових критеріїв полягає у створенні умов для зниження смертності та травматизму, що є пріоритетом будь-якої транспортної системи.

Екологічні критерії визначають ступінь впливу транспортної мережі на навколишнє середовище. Найважливішими показниками є обсяг викидів шкідливих речовин, рівень шуму та вібрацій, а також зайнятість території під дороги. Автомобільний транспорт є одним з основних джерел забруднення повітря у містах. Підвищення швидкості руху та зниження кількості заторів зменшують кількість викидів. Рівень шуму і вібрацій негативно впливає на здоров’я людей, особливо у густонаселених районах. Важливим є також питання раціонального використання територій. Аналіз екологічних критеріїв дозволяє оцінити баланс між розвитком транспортної мережі та охороною довкілля. Значення цих критеріїв полягає у формуванні стійкого міського середовища.

Містобудівні критерії відображають взаємозв’язок вулично-дорожньої мережі зі структурою міста. Вони включають інтегрованість у міську систему, відповідність генеральному плану та можливості розвитку [4]. Вулиці та дороги повинні забезпечувати зв’язки між житловими районами, промисловими зонами, об’єктами торгівлі, культури й відпочинку. Аналіз містобудівних критеріїв дозволяє оцінити, наскільки мережа сприяє гармонійному розвитку міста. Транспортна інфраструктура не повинна розривати міський простір, а має інтегрувати його. Значення містобудівних критеріїв полягає у забезпеченні збалансованого розвитку міських територій.

Аналіз критеріїв ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі дає змогу комплексно оцінити її стан, виявити ключові проблеми та визначити напрями розвитку.

Транспортно-експлуатаційні, соціально-економічні, безпекові, екологічні та містобудівні показники формують цілісне уявлення про сильні та слабкі сторони існуючої системи. Водночас,

виявлені дисбаланси та недоліки свідчать про необхідність впровадження цілеспрямованих заходів для підвищення її ефективності. Саме тому важливим етапом дослідження є визначення шляхів оптимізації, які дозволять забезпечити сталий розвиток міської транспортної інфраструктури, зменшити негативні наслідки перевантаження вулиць і водночас створити комфортні умови для всіх учасників руху. Серед найважливіших шляхів оптимізації вулично-дорожньої мережі [1] можна виокремити наступні:

- раціональна організація дорожнього руху;
- розвиток громадського транспорту;
- будівництво та реконструкція транспортної інфраструктури;
- інтелектуальні транспортні системи;
- обмеження руху приватного транспорту в центрі;
- розвиток велосипедної та пішохідної інфраструктури;
- екологізація транспортної системи;
- містобудівні рішення.

Раціональна організація руху є одним із найбільш доступних та ефективних методів оптимізації транспортної мережі. Вона передбачає зміну схем руху без масштабних капіталовкладень у будівництво. Синхронізація світлофорів (АСУДР) дозволяє уникати частих зупинок і підвищує середню швидкість пересування. Організація одностороннього руху на вузьких вулицях знижує ймовірність заторів та ДТП. Важливим є також розмежування потоків громадського та приватного транспорту, що підвищує ефективність роботи кожного з них [2]. Однак організаційні зміни вимагають детального аналізу та контролю транспортних потоків. Неправильні рішення можуть, навпаки, створити додаткові проблеми. Значення цього шляху полягає у швидкому й відносно недорогому підвищенні пропускної спроможності вулиць. Він є першим етапом перед масштабними реконструкціями.

Громадський транспорт відіграє ключову роль у зменшенні транспортного навантаження на вулично-дорожню мережу. Високий рівень забезпеченості міст ефективним і комфортним громадським транспортом зменшує залежність населення від приватних автомобілів. Виділені смуги для автобусів і тролейбусів дозволяють підвищити швидкість і регулярність перевезень. Пріоритет на перехрестях робить громадський транспорт конкурентоспроможним порівняно з автомобілями. Розвиток громадського транспорту є стратегічним напрямом для сталого розвитку міст. Водночас такі проєкти вимагають значних інвестицій і тривалого часу реалізації.

Будівництво нових вулиць та доріг і реконструкція існуючих є традиційним шляхом оптимізації транспортної мережі. Проте слід враховувати, що будівництво нових доріг часто провокує подальше зростання кількості автомобілів. Це може призвести до повторного перевантаження мережі в середньостроковій перспективі. Тому такі заходи мають поєднуватися з розвитком громадського транспорту та містобудівними рішеннями. Значення цього шляху полягає у створенні фізичних умов для розвантаження мережі. Він є необхідним, але не достатнім інструментом оптимізації.

Інтелектуальні транспортні системи (ITS) є сучасним інструментом управління дорожнім рухом. Аналіз показує, що ITS дозволяють зменшити затримки на перехрестях до 20–30%. Проте впровадження таких систем потребує високих фінансових витрат і технічного забезпечення. Вони особливо ефективні у великих містах із насиченими транспортними потоками. Значення ITS полягає в переході від пасивного до активного управління дорожнім рухом. Це інноваційний шлях підвищення ефективності без масштабного будівництва.

Обмеження руху приватних автомобілів у центральних районах є достатньо поширеним явищем у світовій практиці. Тому цей шлях ефективний лише в поєднанні з розвитком громадського транспорту. Аналіз світового досвіду показує, що міста з платним в'їздом у центр значно знижують затримки в русі. Значення цього шляху полягає у формуванні політики «менше автомобілів – більше простору для людей». Він орієнтований на підвищення якості життя в міському середовищі.

Розвиток велосипедної та пішохідної інфраструктури є складовою сучасної транспортної політики. У містах із розвиненою велоінфраструктурою частка поїздок на велосипеді сягає 20–30% [1]. Безпека руху тут є головним фактором, адже без належних умов велосипеди залишаються маргінальним видом транспорту. Пішохідні вулиці формують комфортне міське середовище, сприяють розвитку бізнесу та туризму. Аналіз показує, що розвиток цієї

інфраструктури коштує дешевше, ніж нове будівництво вулиць та доріг. Значення цього шляху полягає в переході до сталої мобільності. Він орієнтований не лише на транспорт, а й на якість життя у місті.

Екологізація транспортної системи спрямована на зменшення негативного впливу транспорту на довкілля. Такі заходи поєднують у собі як організаційні, так і технологічні рішення. Аналіз показує, що навіть частковий перехід на екологічний транспорт може знизити забруднення повітря на 15–20% [1]. Водночас розвиток інфраструктури для електротранспорту потребує значних інвестицій. Перехід до екологічної моделі є стратегічним завданням міст XXI століття. Значення цього шляху полягає у формуванні безпечного та чистого середовища для життя. Це інструмент довгострокової оптимізації транспортної мережі.

Містобудівні рішення мають стратегічне значення для оптимізації транспортної мережі. Вони передбачають децентралізацію міських функцій, щоб зменшити маятникову міграцію населення. Інтеграція транспортної інфраструктури в генеральний план міста забезпечує узгодженість розвитку. Значення цього шляху полягає у формуванні гармонійного міського середовища. Це комплексний інструмент, який визначає ефективність транспортної мережі на десятиліття вперед.

Ефективність функціонування вулично-дорожньої мережі визначається сукупністю критеріїв: транспортно-експлуатаційних, соціально-економічних, безпекових, екологічних та містобудівних. Їх аналіз дозволяє комплексно оцінити сильні та слабкі сторони транспортної системи міста. Для підвищення ефективності необхідно застосовувати різні шляхи оптимізації, серед яких розвиток громадського транспорту, вдосконалення організації руху, підтримка альтернативних видів пересування, впровадження інтелектуальних транспортних систем і модернізація інфраструктури. Поєднання цих напрямів створює передумови для формування сталої, безпечної та комфортної транспортної системи, яка відповідатиме потребам сучасного міста.

Список використаних джерел

1. Степанчук О. В. Методологія підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст : дис. д-ра техн. наук : 05.23.20 / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ, 2018. 427 с.

2. Степанчук О. В. Ефективні методи розподілення транспортних потоків на вулично-дорожній мережі в сучасних умовах // Вісник Інженерної академії України. – 2013. – Вип. 3–4. – С. 171–174.

3. Степанчук О. В. Сутність ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст // Проблеми розвитку міського середовища. – 2016. – Вип. 1(15). – С. 133–143.

4. Степанчук О. В. Вплив планувальних особливостей міст на розподілення транспортних потоків на вулично-дорожній мережі // Проблеми розвитку міського середовища. – 2020. – Вип. 1(24). – С. 116–127.

Степанчук Олександр Васильович **–** д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ, e-mail: *olstnau@gmail.com*

Чернишова Оксана Сергіївна **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри інфраструктури авіаційного транспорту, Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ, e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua

Stepanchuk Oleksandr V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Computer Technologies in Construction, State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, e-mail: *olstnau@gmail.com*

Chernyshova Oksana S., - Doctor of philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Aviation Transport Infrastructure State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua

УДК 658.7

Л.А. Тарандушка, І.П. Тарандушка

РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДІЯЛЬНОСТІ МЕНЕДЖЕРА З ЛОГІСТИКИ

Розроблено функціональну модель діяльності менеджера з логістики за стандартом IDEF0, що дає можливість легшого сприйняття всіх складових елементів та процесів, що відбуваються під час формування заявок на вантажні перевезення працівником транспортно-експедиторської компанії . На основі розробленої моделі стає можливим оптимізувати процес формування заявок на виконання вантажних перевезень в транспортно–експедиторській діяльності.

Ключові слова: *логістика, транспортно-експедиторська послуга, функціональна модель.*

A functional model of a logistics manager's activities was developed in accordance with the IDEF0 standard, enabling easier understanding of all the components and processes involved in the creation of freight transportation requests by an employee of a freight forwarding company. Based on the developed model, it becomes possible to optimize the process of creating transportation requests within freight forwarding operations.

Keywords: *logistics, freight forwarding service, functional model.*

Сучасна транспортна інфраструктура України, дотримуючись стандартів світової економіки, поступово повертається в бік системних структурних перетворень, орієнтованих на логістику. Перспективи логістики характеризуються насамперед ефектом інтеграції, який приведе до істотного зниження витрат та зростання якості обслуговування відправників і одержувачів вантажу. У процесі взаємодії учасники ланцюга активно використовують такі переваги логістичних інформаційних систем, як електронні засоби управління транспортно-складськими технологіями, електронний обмін даними.

Інтегрований логістичний підхід до бізнес-процесів за останнє десятиліття докорінно змінився. Управління логістичними операціями і ланцюгами постачань перетворилося на високоприбуткову і розвинену сферу економіки . Цьому сприяли нові господарські відносини, які виникли між постачальниками і споживачами в зв'язку з необхідністю спільного управління матеріальними потоками на основі новітніх ІТ. Оптимізації ланцюгів постачань і колективного доступу до інформації дозволяє отримати додатковий ефект від взаємодії їх учасників. Ключовий елемент логістичних ланцюгів - інформаційні ресурси [1].

Транспортно-експедиторська компанія повинна задовольняти наступним вимогам:

- Швидка та чітка обробка отриманих замовлень.
- Пошук та надання транспорту в задані строки.
- Неухильне дотримання всіх правил та умов транспортування вантажу.
- Контроль за виконанням інформуванням клієнта про статус перевезення вантажу.
- Формування звітності та інших фінансових, супроводжувальних документів.
- Суворе дотримання законодавства [2].

Транспортно-експедиторська послуга - робота, що безпосередньо пов'язана з організацією та забезпеченням перевезень експортного, імпортного, транзитного або іншого вантажу за договором транспортного експедирування;

Важливим працівником транспортно-експедиторської компанії є її менеджер, який формує заявки на виконання перевезень. Для формування функціональної моделі діяльності менеджера з логістики необхідно врахувати всі складові процесу формування заявки на перевезення. Менеджер з логістики є тією ланкою, що пов’язує клієнта, еспедитора, перевізника в процесі формування заявки на перевезення.

Головною функцією менеджера логістики транспортно–експедиторської діяльності є створення договору – заявки між замовником та перевізником. Для розуміння цього складного процесу побудуємо діаграми за стандартом функціонального моделювання IDEF0 [3], що відображають всі елементи та етапи створення заявки на виконання перевезень. Елементи діаграм функціонального моделювання схематично наведені на рис. 1**.** Процеси, що відображають діяльність менеджера представлені на рис. 2.

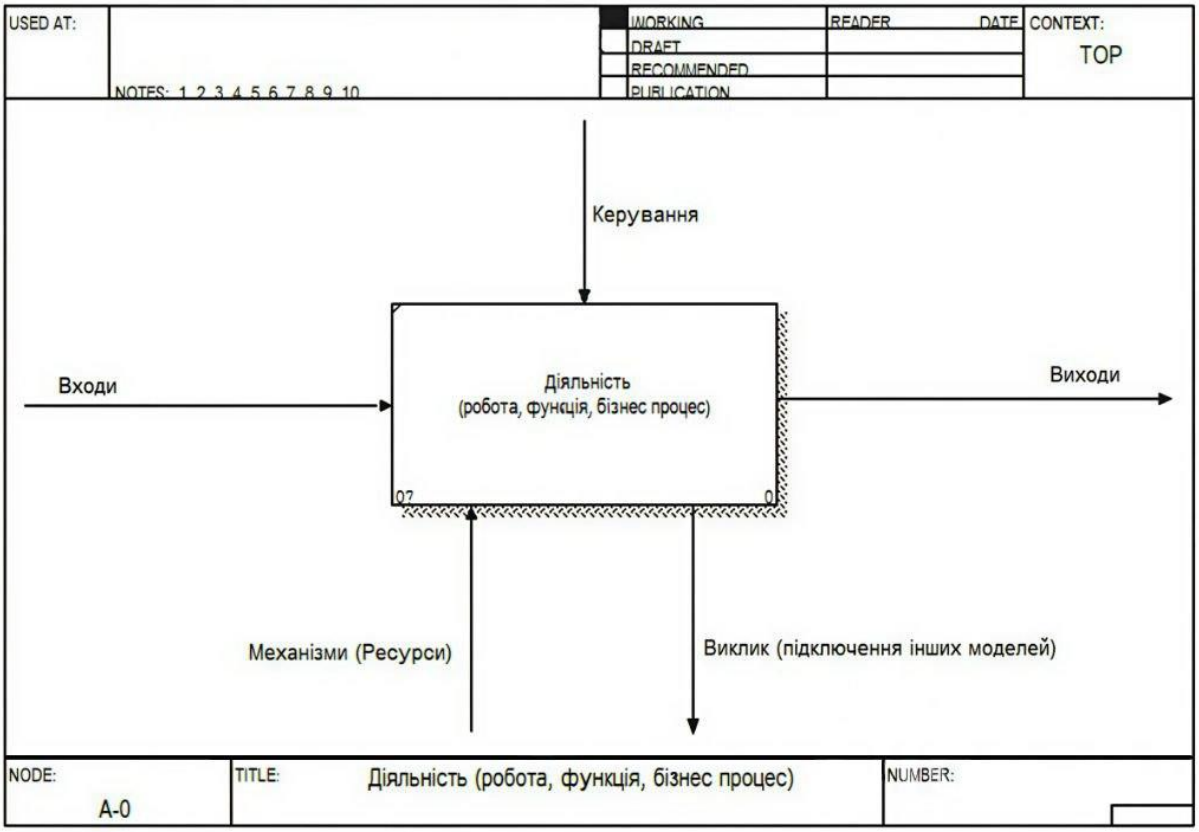


Рисунок 1 – Елементи функціональної моделі

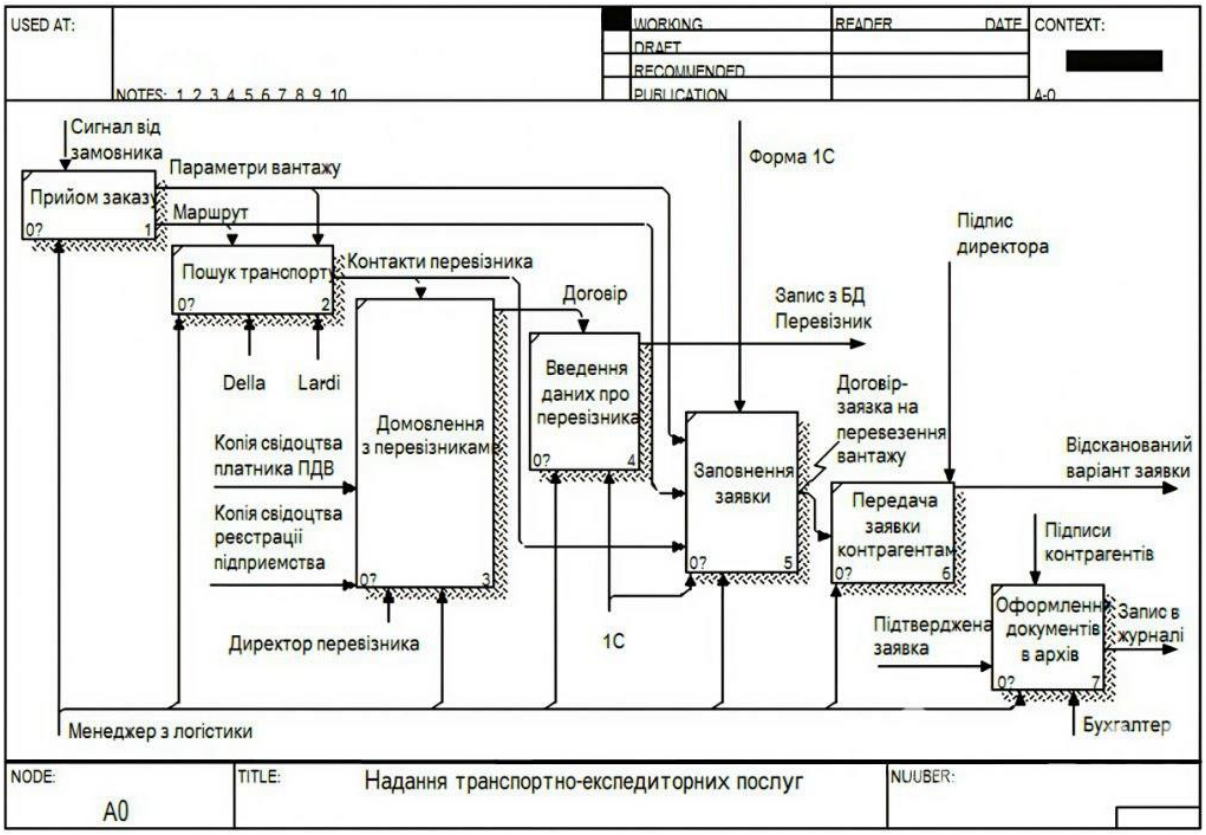


Рисунок 2 – Функціональна модель діяльності менеджера з логістики

Менеджер отримує заказ від замовника на перевезення вантажу, що включає в себе наступну інформацію: тип і вага вантажу, місто завантаження/розвантаження, дата завантаження, тип транспортного засобу під даний вантаж та вартість перевезення (але часто вартість замовником не вказується). Далі менеджер заповнює форуму додавання вантажу у логістичних Інтернет-програмах таких як: lardi-trans і della, після чого виконує пошук транспортного засобу. Коли знайдено відповідний транспортний засіб, відбувається процес переговорів експедитора з власником авто або його диспетчером. Після того як учасники переговорів дійдуть згоди, відбувається обмін документами, а саме такими документами як: свідоцтво державної реєстрації підприємства та свідоцтво платника ПДВ. Наступним кроком менеджера є занесення отриманої інформації до бази даних про перевізника та створення на основі них та отриманої інформації від замовника договору – заявки.

Договір–заявка друкується, затверджується директором або відповідальною особою та надсилається контрагентам на підпис. Після того як експедитор отримає підписані документи від обох сторін, перевезення вважається дозволеним і водій може їхати на завантаження. Після того як водій здійснить розвантаження, перевезення вважається завершеним, документи направляються до бухгалтера, який виписує рахунок, акти виконаних робіт і податкову накладну для оплати даного перевезення.

Розроблена функціональна модель діяльності менеджера з логістики дає можливість бачити всі складові елементи та процеси, що відбуваються під час оформлення заявки на виконання перевезення. На основі даної моделі стає можливим вдосконалення та оптимізації процесу формування заявок на виконання вантажних перевезень в транспортно–експедиторській діяльності.

Список використаних джерел

1. Михаліцька Н. Я., Верескля М. Р. Логістичний менеджмент: навчальний посібник. Львів: Львівський державний університет внутрішніх справ, 2020. 440 с.

2. Транспортно-експедиторська діяльність: Навч. посібник / В. М. Запара, С. М. Продащук, А. Л. Кравець та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – 214 с. ISBN 978-617-654-026-7.

3. National Institute of Standards and Technology. Integration Definition for Function Modeling (IDEF0), FIPS PUB 183. Gaithersburg, MD: U.S. Department of Commerce, Dec. 21 1993.

Тарандушка Людмила Анатоліївна – д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, e-mail: tarandushkal@ukr.net

Тарандушка Іван Павлович – старший викладач кафедри автомобілів та технології їх експлуатації, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, e-mail: : tarandushka@ukr.net

Tarandushka Liudmyla A. - Prof., Doctor of Engineering, Head of the Department of vehicles and technology for their operation Cherkasy State Technological University, Cherkasy, e-mail: tarandushkal@ukr.net

Tarandushka Ivan P. - Senior Lecturer of vehicles and technology for their operation Department, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, e-mail: tarandushka@ukr.net

УДК 629.113

В.Є. Титаренко

ОСОБЛИВОСТІ ТО І РЕМОНТУ ЗВАРНИХ РАМ З ТРІЩИНАМИ

Проведено аналіз особливостей ТО і ремонтного відновлення зварних рам вантажних автомобілів і причіпних транспортних засобів з дефектами втомного руйнування та пошкодженнями від перевантаження або в результаті ДТП.

Ключові слова: *втомні тріщини, зварні рами, тріщиностійкість, багато циклове та мало циклове навантаження, критичні тріщини.*

An analysis of the features of maintenance and repair of welded frames of trucks and trailer vehicles with fatigue fracture defects and damage from overloading or as a result of an accident was conducted.

Keywords*: fatigue cracks, welded frames, crack resistance, high-cycle and low-cycle loading, critical cracks.*

Збільшення експлуатаційних напрацювань автомобільних зварних рам з тріщинами можливе за рахунок використання живучості втомних тріщин [1], що може призвести до подовження експлуатаційного ресурсу і зменшення затрат на ремонт рам. Однак слід довести, що тріщини є втомними і не критичними. Для цього при технічному обслуговуванні рам необхідно з'ясовувати механізм утворення тріщин [2] і враховувати різницю між наслідками експлуатаційного використання конструкцій з втомними тріщинами та пошкодженнями від перевантажень. Тріщини, що утворилися в елементах конструкції рам від експлуатаційного режиму багато-циклових навантажень (характеризуються допустимими нормальними напруженнями) можуть мати повільний розвиток, що визначається коефіцієнтом інтенсивності напружень (КІН). Конструкції з такими тріщинами, які називають втомними, мають живучість за рахунок тріщиностійкості та можуть експлуатуватись ще тривалий час під наглядом. Тому особливістю ТО рам з втомними тріщинами є включення в його регламент спостережень за їх розвитком. Критичність тріщин встановлюється на основі значень параметра КІН та інтенсивності їх росту при експлуатаційному використанні рам. При малих значеннях КІН та допустимих розмірах втомних тріщин дефекти можна не усувати. Допустимими за розмірами до подальшої експлуатації вважаються тріщини нерозгалужені, що не перевищують половини висоти поперечного перетину профіля конструктивного елемента, а якщо тріщина розгалужена, то це стосується її сумарної довжини [3]. На відміну від втомних тріщин, тріщини та деформаційні пошкодження від перевантаження, режиму мало-циклового навантаження (напруження перевищують допустимі), чи аварійного пошкодження при дорожньо-транспортній пригоді можуть бути пов'язані з втратою геометричних параметрів рами, що в свою чергу може призвести до порушення експлуатаційних параметрів автомобіля або причіпного транспортного засобу. В такому випадку відновлювальний ремонт є обов'язковою вимогою, перш за все, з точки зору безпеки. Однак, слід зазначити, що відновлення таких рам є технологічно складною задачею, а їх заміна, як номенклатурного елемента, є дорогим заходом.

Список використаних джерел

1. Довідниковий посібник в 4 т. / Під редакцією Панасюка В.В. Механіка руйнування і міцність.

2. Трощенко В.Т., Покровський В.В., Прокопенко А.В. Тріщиностійкість металів при циклічному навантаженні. – К. ; Наукова думка, 1987. 251 с.

3. Титаренко В.Є. Напружено – деформований стан і довговічність рам напівпричепів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Тернопіль – 2007 р. 201 с.

Титаренко Володимир Євгенійович – к.т.н., доцент, викладач вищої категорії відокремленого структурного підрозділу Житомирського автомобільно-дорожнього фахового коледжу Національного транспортного університету, м. Житомир, e-mail: Voldtit@gmail.com.

Volodymyr Yevheniyovych Tytarenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Higher Category Lecturer of the Separate Structural Unit of the Zhytomyr Automobile and Road Professional College of the National Transport University, Zhytomyr, e-mail: Voldtit@gmail.com.

УДК 629.331:658.78(045)

С.Ю. Тищенко, В.В. Аулін, А.В. Гриньків, О.П. Цьонь

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АВТОМОБІЛІВ МАРКИ RENAULT УДОСКОНАЛЕННЯМ ЛОГІСТИЧНОГО СЕРВІСУ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН

Представлено результати експериментального дослідження експлуатаційної надійності автомобілів марки Renault (моделі Dokker, Express, Master), що проходили технічне обслуговування в офіційних дилерських центрах у 2022–2024 роках. На основі аналізу статистичних даних про відмови, несправності та умови експлуатації розроблено методику оцінювання та класифікації елементів автомобілів за ступенями впливу на працездатність. Визначено критичні елементи, що лімітують працездатність транспортних засобів, і сформовано рекомендації щодо оптимізації логістичного сервісу постачання запасних частин.

Застосування методу послідовних переваг дало змогу отримати узагальнені показники надійності, провести ідентифікацію ресурсовизначальних елементів і встановити оптимальну періодичність технічного обслуговування. На основі аналізу впливу відмов на експлуатаційну ефективність обґрунтовано номенклатуру запасних частин для системи дистриб'юторського та дилерського постачання. Отримані результати сприяють підвищенню надійності автомобілів Renault, скороченню простоїв під час ремонту та підвищенню ефективності технічного сервісу.

Ключові слова: *експлуатаційна надійність, Renault Dokker, Renault Express, Renault Master, критичні елементи, типові відмови, логістичний сервіс, запасні частини, технічне обслуговування.*

The results of an experimental study of the operational reliability of Renault vehicles (Dokker, Express, Master models) that underwent maintenance at official dealerships in 2022–2024 are presented. Based on the analysis of statistical data on failures, malfunctions and operating conditions, a methodology for assessing and classifying vehicle elements by degrees of impact on performance was developed. Critical elements limiting the performance of vehicles were identified, and recommendations were made for optimizing the logistics service for the supply of spare parts. The application of the sequential advantages method made it possible to obtain generalized reliability indicators, identify resource-determining elements and establish the optimal frequency of maintenance. Based on the analysis of the impact of failures on operational efficiency, the range of spare parts for the distribution and dealer supply system was substantiated. The results obtained contribute to increasing the reliability of Renault vehicles, reducing downtime during repairs and increasing the efficiency of technical service.

Keywords: *operational reliability, Renault Dokker, Renault Express, Renault Master, critical elements, typical failures, logistics service, spare parts, maintenance.*

У ході дослідження об'єктом спостереження виступали автомобілі марки Renault, які проходили технічне обслуговування в офіційних дилерських центрах і експлуатувалися в умовах інтенсивного міського та заміського руху. Збір експериментальних даних здійснювався протягом двох років – з 2022 по 2024 рік. До вибірки було включено 500 автомобілів різних моделей бренду Renault, зокрема Renault Dokker, Renault Express, Renault Master.

У процесі дослідження проведено структурний аналіз елементів автомобілів (вузлів, систем і агрегатів) із введенням їхніх умовних позначень. Саме ці елементи стали об'єктами оцінювання експлуатаційної надійності. Формування номенклатури деталей відбувалося на основі аналізу умов експлуатації, її інтенсивності, частоти відмов і несправностей, використовуючи відповідну інформаційну базу даних. Класифікацію відмов та несправностей виконано з урахуванням положень, що забезпечують якісну оцінку надійності основних вузлів, агрегатів і систем автомобілів Renault. При цьому були враховані характерні ознаки прояву відмов і специфіка експлуатаційних дефектів.

Отримані в результаті спостережень дані було систематизовано за організаційними та локальними критеріями, з урахуванням рівня підготовки й досвіду персоналу станцій технічного обслуговування (СТО). Наведено приклади реалізації регулярного моніторингу технічного стану автомобілів, що враховує фактичне напрацювання вузлів і систем у реальних умовах

експлуатації. Під час аналізу розглядалися також обсяги проведених ремонтно-профілактичних робіт і перелік зареєстрованих відмов та несправностей.

Зазначені експериментальні випробування належать до категорії таких, що не передбачають фіксації режиму роботи об'єктів. Відповідно до розроблених методичних підходів, вони мали інформаційний характер (з орієнтацією на споживачів і персонал СТО) та рекомендаційний (з формуванням пропозицій для виробника або користувачів автомобілів).

У результаті проведеного аналізу визначено елементи автомобілів, що лімітують їхню працездатність, а також встановлено основні причини відмов і несправностей. На цій основі розроблено рекомендації щодо періодичності технічного обслуговування та переліку регламентних робіт, необхідних для підтримання автомобілів у справному стані.

Під час збору та обробки статистичних даних про експлуатаційну надійність основних вузлів отримано оціночні показники, що дали змогу провести подальше оптимізаційне та прогнозне моделювання потреби в запасних елементах. Це здійснювалося з урахуванням логістики постачання деталей у дилерські мережі, розташовані в межах зон ділової активності.

Визначення елементів, які обмежують працездатність автомобіля, виконувалося на основі комплексного аналізу таких критеріїв:

- частота типових відмов і їхній вплив на ресурс автомобіля;
- ступінь впливу кожної відмови на загальну працездатність транспортного засобу;
- співвідношення між витратами на заміну елемента та середнім напрацюванням до відмови для відповідного виду поломки.

Для забезпечення максимальної достовірності результатів було прийнято рішення використати фактичні дані дилерської мережі СТО, які обслуговують автомобілі Renault. Аналіз статистичних відомостей про відмови дозволив отримати основні показники надійності — середнє напрацювання на відмову, коефіцієнт варіації, дисперсію тощо. На основі цих даних проведено класифікацію відмов і визначення експлуатаційних характеристик автомобілів. Отримано інтегральні та диференціальні функції розподілу напрацювань до відмови, що стали основою для узагальненої оцінки експлуатаційної надійності.

Оцінювання показників надійності за даними дилерських СТО здійснювалося із застосуванням методу послідовних переваг, що забезпечив підвищену точність результатів і дозволив сформувати практичні рекомендації щодо удосконалення логістичного сервісу запасних частин.

На основі показників надійності була розроблена методика ідентифікації критичних елементів автомобіля, тобто тих складових, які обмежують або визначають його працездатний стан. Під час формування номенклатури запасних частин, що підлягають замовленню, враховували ступінь впливу типових відмов на загальну експлуатаційну придатність транспортного засобу. Для цього проведено аналіз класифікаційних даних щодо відмов, а також використано практичний досвід технічного обслуговування, експлуатації та ремонту основних вузлів, систем і агрегатів автомобілів.

У ході дослідження було встановлено три основні ступені впливу відмов елементів на можливість подальшої експлуатації автомобіля:

- Ступінь Q1 – типові відмови, які призводять до повної втрати працездатності автомобіля, переводячи його у граничний або повністю несправний стан.
- Ступінь Q2 – відмови, що суттєво погіршують технічний стан автомобіля та вимагають негайного ремонту, внаслідок чого транспортний засіб визнається несправним.
- Ступінь Q3 – відмови, які спричиняють лише незначне відхилення технічного стану від нормативних показників. Такі несправності підлягають усуненню, але не призводять до повної зупинки автомобіля.

Для кожного з досліджених елементів автомобілів марки Renault було визначено інтегральний ступінь впливу, що розраховувався з урахуванням вартості запасної частини, середнього напрацювання до відмови та питомих витрат, пов'язаних із її виходом з ладу.

Результати аналізу для Renault Dokker (табл.1) показали, що найбільш критичними є елементи E12–E15, які мають ступінь впливу Q1 і безпосередньо зумовлюють непрацездатність автомобіля. Елементи E6, E16, E17 належать до зони підвищеного ризику, оскільки поєднують ступені впливу Q1 і Q2. Усі три типи впливу (Q1, Q2, Q3) притаманні елементам E7, E8, E18, тоді

як елементи Е3–Е5, Е9–Е11 віднесено до зони нижчого ризику, оскільки вони характеризуються ступенями Q2–Q3.

Таблиця 1 - Структура та позначення елементів автомобілів Renault Dokker

п/п	Найменування елементів	Індекс елементів, Е1
1	Втулки переднього стабілізатора	Е1
2	Стійки переднього стабілізатора	Е2
3	Опора двигуна права	Е3
4	Важелі передньої підвіски	Е4
5	Сайлентблоки задньої балки	Е5
6	Гальмівні диски	Е6
7	Наконечники рульових тяг	Е7
8	Рульова рейка	Е8
9	Передні амортизатори	Е9
10	Опорні підшипники	Е 10
11	Задні амортизатори	Е 11
12	Зчеплення КПП	Е 12
13	Стартер	Е13
14	Ремінь ГРМ з роликами	Е14
15	Ремінь поліклиновий з роликами	Е15
16	Помпа	Е16
17	Турбокомпресор	Е17
18	Калібрування і ремонт паливних форсунок	Е18

Для Renault Express (табл. 2) найбільш відповідальними визначено елементи Е12, Е14–Е15, що мають ступінь впливу Q1. У зоні підвищеного ризику перебувають Е6, Е8, Е16, Е17, для яких характерне поєднання ступенів Q1–Q2, а елемент Е18 має усі типові ступені впливу. До зони помірного ризику належать Е3–Е5, Е7, Е9–Е11, Е13, які характеризуються ступенями Q2–Q3.

Таблиця 2 - Структура та позначення елементів автомобілів Renault Express

п/п	Найменування елементів	Індекс елементів, Е1
1	Втулки переднього стабілізатора	Е1
2	Стійки переднього стабілізатора	Е2
3	Опора двигуна права	Е3
4	Важелі передньої підвіски	Е4
5	Сайлентблоки задньої балки	Е5
6	Гальмівні диски	Е6
7	Наконечники рульових тяг	Е7
8	Передні ступичні підшипники	Е8
9	Передні амортизатори	Е9
10	Опорні підшипники	Е 10
11	Задні амортизатори	Е 11
12	Зчеплення КПП	Е 12
13	Задні гальмівні барабани з колодками	Е13
14	Ремінь ГРМ з роликами	Е14
15	Ремінь поліклиновий з роликами	Е15
16	Помпа	Е16
17	Турбокомпресор	Е17
18	Калібрування і ремонт паливних форсунок	Е18

Для Renault Master (табл. 3) встановлено, що найбільш критичними є елементи Е12, Е13, Е15 зі ступенем впливу Q1. До зони підвищеного ризику належать Е3, Е5, Е6, Е14, Е16, які

поєднують ступені Q1–Q2, а елемент E8 має усі типові ступені впливу. До зони меншого ризику віднесено E4, E7, E9–E11, що мають ступені Q2–Q3.

Таблиця 3 - Структура та позначення елементів автомобілів Renault Master

п/п	Найменування елементів	Індекс елементів, E1
1	Втулки переднього стабілізатора	E1
2	Стійки переднього стабілізатора	E2
3	Маточина колісна передня	E3
4	Шарова опора переднього важеля	E4
5	Ресори заднього моста	E5
6	Гальмівні диски передні	E6
7	Наконечники рульових тяг	E7
8	Рульова рейка	E8
9	Передні амортизатори	E9
10	Опорні підшипники	E 10
11	Задні амортизатори	E 11
12	Зчеплення КПП	E 12
13	Стартер	E13
14	Ланцюг ГРМ	E14
15	Ремінь поліклиновий з роликами	E15
16	Помпа	E16

Встановлено, що досліджені елементи мають бути пріоритетними при формуванні замовлень запасних частин у межах дистриб'юторської та дилерської систем постачання, що забезпечують своєчасне технічне обслуговування автомобілів на СТО. При цьому визначення ступеня важливості та впливу кожної запасної частини на працездатність автомобіля дозволяє сформувати оптимальний порядок закупівель.

Результати дослідження показали, що для автомобілів групи Renault необхідно негайно замовляти запасні частини, без яких подальша експлуатація неможлива, а саме: зчеплення КПП, стартер, ремінь ГРМ із роликами, поліклиновий ремінь із роликами.

У випадках, коли відмова призводить до значного погіршення технічного стану, рекомендовано завчасно планувати постачання таких деталей, як помпа та турбокомпресор.

Для зменшення простоїв автомобілів під час проведення капітальних або планових ремонтів доцільно забезпечувати наявність втулок і стійок переднього стабілізатора, які підлягають заміні у разі незначних відхилень від еталонного технічного стану.

До групи елементів, що мають кілька ступенів впливу (Q1–Q3), віднесено: амортизатори (передні та задні), важелі передньої підвіски, наконечники рульових тяг, передні гальмівні диски, рульову рейку, сайлентблоки задньої балки, опорні підшипники стійок амортизаторів, а також паливні форсунки (їх калібрування та ремонт). Замовлення таких елементів повинно плануватися з урахуванням переважаючого ступеня їхнього впливу на технічний стан автомобілів Renault.

Таким чином, досліджено характерні відмови та несправності автомобілів Renault (Dokker, Express, Master), проведено їх класифікацію за причинами, джерелами виникнення та ступенем впливу на працездатність транспортних засобів. Під час експериментальних досліджень і обробки статистичної інформації про надійність вузлів, систем і агрегатів визначено номенклатуру елементів, що мають найвищий рівень впливу на експлуатаційну ефективність. Розроблено методику виявлення ресурсовизначальних елементів автомобілів марки Renault, засновану на ступенях типового впливу на технічний стан та показники надійності. Обґрунтовано перелік елементів, які доцільно розглядати як запасні частини, з визначенням пріоритетності їх замовлення для забезпечення ефективного функціонування системи технічного сервісу.

Список використаних джерел

1. Методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах та розробка методики їх впливу на загальну працездатність автомобілів / С. Ю. Тищенко, А. А. Сергійчук,

В. В. Аулін, А. В. Гриньків // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2025. - Вип. 11(42). - Ч. 1. - С. 243-257.

2. Аулін В. В., Лисенко С. В., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Головатий А. О. Логістика постачання транспортних і виробничих підприємств, фірм, компаній: Навчальний посібник під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2022. – 325 с.

3. Формування логістичних проєктно-орієнтованих кластерів у регіональних ланцюгах постачань агропродукції / В. В. Аулін, Д. В. Голуб, А. В. Гриньків, С. В. Лисенко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 2. - С. 214-227.

4. Аулін, В. В. Інноваційні рішення в складській логістиці / В. В. Аулін, С. Ю. Тищенко, А. В. Гриньків // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - Вип. 10(41). - Ч. 1. - С. 270-285.

Тищенко Сергій Юрійович **–** аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: Sergey.Tishchenko@autotechnics.ua

Аулін Віктор Васильович **–** д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: aulinvv@gmail.com

Гриньків Андрій Вікторович – к.т.н., старший дослідник, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Цьон Олег Петрович **–** к.т.н., доцент, завідувач кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, e-mail: tsonoleg@gmail.com

Tyshchenko Serhii Yu. – postgraduate student of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: Sergey.Tishchenko@autotechnics.ua

Aulin Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: aulinvv@gmail.com

Hrynkiv Andrii V. – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Senior Lecturer of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Tsyon Oleh P. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, e-mail: tsonoleg@gmail.com

УДК 656.025.2

Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич

МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА

На основі аналізу особливостей ВДМ, яка складається з центральної та периферійної частин міста, встановлено можливість узгодженого функціонування цих транспортних підсистем на основі реалізації вимог інтелектуальних транспортних систем з залученням технологій штучного інтелекту.

Ключові слова: *вулично-дорожня мережа, центральна і периферійна частини, транспортна система, транспортні потоки, штучний інтелект.*

Based on the analysis of the characteristics of the road network, which consists of central and peripheral parts, the possibility of coordinated functioning of their transport subsystems has been established based on the use of intelligent transport system requirements with the involvement of artificial intelligence technologies.

Key words: *road network, central and peripheral parts, transport system, traffic flows, artificial intelligence.*

Незважаючи на багаторічний досвід функціонування транспортної системи у місті Львові воно залишається і надалі з відомими проблемами (затори, затримки, загазованість, ріст ДТП). Розв’язати їх у певній мірі можливо, дослідивши і отримавши відповідні практичні результати, за умови визнання головною (визначальною) транспортну підсистему центральної частини міста. Периферійна, з її транспортною підсистемою, розмір якої набагато більший від центральної, повинна підпорядковуватися першій.

Виконані спеціальні спостереження вказують та те, що інтенсивність пересування транспортних засобів у центральній частині (у місцях наявних об’єктів притягання) значно вища, ніж у периферійній. З цієї причини у центральній частині на передній план виступає актуальність забезпечення безпеки пересувань усіх учасників руху. Актуальними залишаються затримки транспортних засобів. Наближаючись з кінця вулично-дорожньої мережі (ВДМ) периферійної транспортної підсистеми міста до центральної затримки (для усіх видів транспорту) зростають, створюючи непереборну проблему, яку можна розв’язати лише частково зважаючи у тому числі на обмежені фінансові ресурси.

Алгоритмом подальших досліджень повинно стати таке. Спочатку окремо досліджується транспортна підсистема центральної частини з отриманням показників і параметрів існуючого трафіку транспортних потоків. Ці результати повинні кластися в основу, як початкові, для обґрунтування процесів вдосконалення периферійної підсистеми. Тобто, робота транспортної підсистеми центральної частини міста повинна диктувати вимоги для периферійної. Тепер про взаємодію між транспортними підсистемами центральної та периферійної частин міста. Як узгодити цю взаємодію. Власне це становить головну транспортну проблему. На нашу думку потрібно починати усе спочатку: досліджувати (з використанням відповідних програмних продуктів) транспортні потоки в центральній частині, зважаючи на її непорушну ВДМ, відтак у периферійній частині – з можливими обґрунтованими змінами її транспортної підсистеми (щодо наявних кількості регульованих та нерегульованих перехресть, довжин прогонів між ними, а також структури транспортних потоків, наявних та розосередженості об’єктів притягання тощо).

Узгодження у функціонуванні цих двох великих підсистем можливе лише на основі розробленого алгоритму інтелектуальних транспортних систем (ІТС) із залученням технологій штучного інтелекту. Створення його вимагатиме попередньо сформованої величезної бази з початковими даними, які характеризують роботу кожної із підсистем. Зокрема: формулювання проблем з організації руху транспортних потоків (ТП); перелік вимог перевізників і можливостей ІТС; інформаційні потоки між підсистемами та інтеграція баз даних; концепція функціонування ІТС; обґрунтовані управлінські рішення та безумовне їх виконання на основі отриманих результатів моделювання узгодженої взаємодії між підсистемами.

Використання цієї бази дозволить команді кваліфікованих фахівців з моделювання транспортних потоків розробити комп’ютерну програму з урахуванням інформаційної бази

штучного інтелекту. Цей процес трудомісткий й вимагатиме не тільки великих часових, але й фінансових витрат. Очевидно, що реальні результати можна очікувати за умови повного насичення міської ВДМ відповідними засобами збору та опрацювання інформації про пересування транспортних засобів, які передбачає ІТС, у т.ч. не тільки наземними, але й космічними (GPS). Зібрані з їх використанням масиви даних про структури та інтенсивності ТП у кожній із підсистем, що характеризуються відповідними конфігураціями ВДМ та кількістю регульованих і нерегульованих перехресть, можна формувати моделі роботи переміщень цих потоків. Після цього повинна бути розроблена окрема програма та алгоритми транспортної взаємодії між периферійною та центральною частиною транспортної системи цілого міста. Від так це уможливить оцінювання адекватно рівень її функціонування й розроблення відповідних рекомендацій у напрямку зменшення заторів у ТП і простоїв транспортних засобів.

Такий варіант щодо підвищення ефективності транспортної системи міста можна знайти у недавній публікації вчених з Національного університету водного господарства та природокористування [1]. Ідеться про те, що «…транспортні моделі, засновані на сучасних інформаційних технологіях, представляють собою потужні обчислювальні програмні системи, які, спираючись на функціональні та просторові характеристики міста, в поєднанні з усіма доступними даними про транспортний попит і пропозицію…». На підставі цього отримують імовірнісний розподіл транспортних і пасажирських потоків по ВДМ, що становитиме основу для прогнозування розвитку міста та міської транспортної інфраструктури. Обґрунтоване стратегічне управління транспортною системою міста, за переконанням авторів [1] буде серед іншого, впливати на якість транспортних послуг та безпеку дорожнього руху.

Очевидно, що вихід з відомих негативних ситуацій, пов’язаних з непомірним ростом рівня автомобілізації, які у сукупності продовжують становити непереборну проблему у транспортних системах міст, може забезпечити інтелектуальна транспортна система з якнайширшим використанням технологій штучного інтелекту. Вона об’єднає у сукупний технічний і технологічний комплекси такі підсистеми – організації дорожнього руху (оптимізація проїзду перехресть, упорядкування ВДМ з відповідними реконструкціями), безпеки дорожнього руху (мінімізації ДТП, забруднень природного довкілля відпрацьованими газами ДВЗ, електромагнітними випромінюваннями, дорожнім шумом тощо), а також інформаційну підсистему (з відповідними центрами моніторингу та керування дорожнім рухом на основі супутникових і наземних автоматизованих чи автоматичних засобів).

Список використаних джерел

1. Pashkevych, S., Nykonchuk, V., & Kolodiuk O. Basic approaches to the formation of the transport model of the city. Advances in mechanical engineering and transport, 2024. 2(23), P. 10-17. DOI: https://doi.org/10.36910/automash.v2i23.1520.

Форнальчик Євген Юліанович **–** доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних технологій Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, e-mail: yevhen.y.fornalchyk@lpnu.ua

Гілевич Володимир Васильович **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, e-mail: volodymyr.v.hilevych@lpnu.ua

Fornalchyk Yevhen Yu. **–** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Transport Technologies at the Institute of Mechanical Engineering and Transport of the Lviv Polytechnic National University, e-mail: yevhen.y.fornalchyk@lpnu.ua

Hilevych Volodymyr V. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Technologies at the Institute of Mechanical Engineering and Transport of the Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: volodymyr.v.hilevych@lpnu.ua

УДК 629.113.012.4:656.073

І.О. Хітров

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА ВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА БЕЗПЕКИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ

Розглянуто вплив конструктивних особливостей кузова вантажного транспортного засобу на безпеку перевезення вантажів. Проведено аналіз поширених типів кузовів з урахуванням їх функціональних властивостей. Особливу увагу приділено безпечності конструкції, а також ролі розташування центру мас у забезпеченні стійкості транспортного засобу.

Ключові слова: *вантажний автомобіль, кузов, безпека перевезень, типи кузовів, центр мас, стійкість конструкції, вантажні перевезення.*

The influence of the structural features of a truck body on the safety of freight transportation is considered. An analysis of common types of truck bodies is carried out, taking into account their functional characteristics. Particular attention is paid to the structural stability during emergency situations and maneuvering, as well as the role of the center of mass in ensuring the overall stability of the vehicle.

Keywords: *truck, body structure, transportation safety, body types, center of mass, structural stability, freight transportation.*

Призначення кузова вантажного транспортного засобу полягає в забезпеченні надійного, безпечного та ефективного перевезення вантажів з урахуванням їхніх фізичних, хімічних та геометричних характеристик [1, 2].

По-перше, кузов виконує функцію розміщення вантажу. Він забезпечує фізичний простір для завантаження, транспортування і розвантаження продукції. Форма, об'єм і конфігурація кузова безпосередньо впливають на вантажопідйомність і функціональну придатність транспортного засобу.

По-друге, важливою функцією є захист вантажу від зовнішніх впливів. Кузов оберігає вантаж від атмосферних опадів, пилу, ультрафіолетового випромінювання, температурних коливань, а також від механічних пошкоджень, ударів і вібрацій, які виникають під час руху.

По-третє, кузов відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки перевезення. Він запобігає зсуву, перекиданню або пошкодженню вантажу під час руху та маневрування. Правильна конструкція кузова дозволяє оптимально розподілити масу вантажу та центр тяжіння, що підвищує стійкість автомобіля.

Також кузов сприяє спрощенню логістичних операцій. Конструктивні особливості (наявність задніх/бічних дверей, гідроборту, напрямних) забезпечують зручність під час завантаження та розвантаження, а також взаємодію з іншими видами транспорту.

Крім того, тип кузова має відповідати характеру вантажу. Наприклад, ізотермічні кузови використовуються для перевезення товарів, що потребують температурного режиму, самоскиди – для сипучих матеріалів, а платформи – для великогабаритних об'єктів [3].

Тип кузова вантажного транспортного засобу суттєво впливає на безпеку перевезень, оскільки визначає умови розміщення, фіксації та захисту вантажу під час транспортування. Різні конструкції кузовів – тентовані, фургонні, ізотермічні, контейнерні тощо – мають свої особливості жорсткості, стійкості та здатності протистояти зовнішнім впливам [4, 5]. Наприклад, жорсткі фургони краще захищають вантаж при зіткненнях, але можуть мати вищий центр мас, що знижує стійкість транспортного засобу. Тентовані кузови забезпечують гнучкість у завантаженні, але поступаються в рівні захисту. Ізотермічні кузови зберігають температурний режим, але мають додаткову масу, що впливає на динаміку руху.

Стійкість конструкції при аваріях та різких маневрах – це здатність кузова вантажного транспортного засобу витримувати значні зовнішні навантаження без втрати цілісності, що забезпечує захист вантажу, водія і пасажирів [6]. Конструкція повинна бути розроблена так, щоб ефективно поглинати та розподіляти енергію удару в разі зіткнень, зменшуючи ризик деформацій, які можуть спричинити пошкодження вантажу або травми.

При різких маневрах, таких як екстрене гальмування, різкі повороти або зміна смуги руху, жорсткість і міцність кузова безпосередньо впливають на стабільність транспортного засобу. Надійна конструкція допомагає уникнути заносу, перекидання чи втрати керованості, що є критично важливим для безпеки дорожнього руху.

Важливу роль у підвищенні стійкості відіграють спеціальні елементи безпеки – зони деформації, посилені каркаси безпеки, а також ефективні системи кріплення вантажу. Ці компоненти сприяють не лише збереженню цілісності кузова, а й забезпечують надійну фіксацію вантажу, що запобігає його переміщенню під час руху або аварійної ситуації [7].

Крім того, застосування сучасних матеріалів високої міцності та інженерних рішень у конструкції кузова дозволяє підвищити його стійкість без значного збільшення маси транспортного засобу. Це сприяє покращенню динамічних характеристик транспортного засобу і загальній безпеці перевезень.

Розташування центру мас вантажного транспортного засобу є одним із ключових факторів, що визначають його стійкість та керованість [8]. При проектуванні кузова важливо оптимально розподілити масу вантажу та конструктивних елементів таким чином, щоб центр мас знаходився на допустимій висоті та в центрі колісної бази. Це сприяє зниженню ризику перекидання під час руху, особливо при проходженні поворотів або різких маневрах.

Неправильне розташування центру мас, наприклад, надмірне зміщення вперед, назад або вбік, може призвести до нестабільності транспортного засобу, збільшення зносу шин та деталей підвіски, а також погіршення керованості. Високий центр мас робить автомобіль більш вразливим до перекидання, що особливо небезпечно на слизьких дорогах або при екстрених ситуаціях.

В умовах експлуатації розподіл вантажу також суттєво впливає на положення центру мас. Неправильне або нерівномірне завантаження кузова може змінити початкове положення центру мас, що призводить до зниження стійкості і збільшення ризику аварій. Тому важливо дотримуватися рекомендацій щодо максимального осьового навантаження та правильно закріплювати вантаж.

Контроль вантажопідйомності вантажного транспортного засобу є важливою умовою забезпечення безпеки перевезень, ефективності роботи транспорту та збереження дорожньої інфраструктури. Перевищення допустимого навантаження може призвести до пошкодження транспортного засобу, підвищеного зносу шин і гальм, зниження стійкості під час руху та навіть до аварійних ситуацій [9].

Першим етапом контролю є врахування технічної документації. У паспорті транспортного засобу виробник вказує максимально допустиму вантажопідйомність, а також навантаження на кожну вісь. Ці дані є основою для подальших розрахунків і контролю при завантаженні.

Другим важливим напрямом є зважування транспортного засобу. Це може здійснюватися на стаціонарних або пересувних вагових комплексах, розташованих на території підприємств або уздовж автомобільних доріг. Крім того, сучасні технології дозволяють здійснювати контроль у русі – за допомогою спеціальних систем, які автоматично фіксують масу транспортного засобу під час його руху без потреби в зупинці [10].

Важливим є також контроль маси вантажу на етапі завантаження. Для цього використовуються товарно-транспортні накладні, у яких зазначено масу вантажу, а також автоматизовані системи зважування на складах або перевалочних базах. Оператор має перевірити, щоб сумарна маса вантажу разом із масою порожнього автомобіля не перевищувала допустиме значення.

На сучасних вантажівках дедалі частіше встановлюються бортові системи зважування. Вони дозволяють у режимі реального часу відстежувати навантаження на окремі осі, передавати дані водієві або диспетчеру, а також інтегрувати інформацію в телематичні системи. Це дає змогу контролювати перевантаження під час руху, а також уникати порушень і штрафів.

З адміністративного боку контроль здійснюють органи Укртрансбезпеки, які проводять перевірки та фіксують порушення вагових норм. В Україні діють чітко встановлені обмеження щодо навантаження на осі та загальної маси транспортного засобу, порушення яких передбачає накладення штрафів згідно з чинним законодавством [11].

Для водіїв важливо не лише дотримуватись дозволеної вантажопідйомності, а й правильно розподіляти вантаж у кузові, аби уникнути перевантаження окремих осей. Крім того, слід

регулярно перевіряти тиск у шинах, адже при перевантаженні недостатній тиск може призвести до аварій або передчасного зносу шин.

Узагальнюючи, конструктивні особливості кузова вантажного транспортного засобу мають безпосередній вплив на безпеку перевезення вантажів. Правильний вибір типу кузова, його жорсткість і стійкість до навантажень забезпечують надійний захист вантажу, стабільність руху та мінімізують ризики аварійних ситуацій. Врахування факторів конструкції, таких як розподіл маси, матеріали та системи кріплення, є ключовими для підвищення безпеки та ефективності транспортного процесу. Загалом, контроль за розташуванням центру мас як на етапі проектування, так і під час експлуатації є одним із основних заходів для забезпечення безпеки вантажних перевезень, оскільки він безпосередньо впливає на динамічні характеристики транспортного засобу та його здатність безпечно рухатися у різних дорожніх умовах. Тому вдосконалення конструкції кузова є важливим напрямом підвищення загального рівня безпеки автомобільних вантажних перевезень.

Список використаних джерел

1. Автомобілі. Теорія експлуатаційних властивостей : навч. посіб. / В. В. Біліченко, О. Л. Добровольський, В. О. Огневий, Є. В. Смирнов. Вінниця : ВНТУ, 2017. 163 с
2. Хітров І. О., Кристопчук М. Є., Никончук В. М. Експлуатаційні властивості транспортних засобів: навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2022. 176 с.
3. Хітров І. О. Аналіз конструкції кузова вантажного транспортного засобу. *Центральноукраїнський науковий вісник*. Технічні науки. Кропивницький. 2022. Вип. 7(38). Ч.2 С. 146-153. URL: https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/7(38)_II/21.pdf.
4. Cargo Body Type. Mass Crash Report Manual: веб-сайт. URL: https://masscrashreportmanual.com/large-truck-bus/cargo-body-type/.
5. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. Організація автомобільних перевезень. Вінниця : ВНТУ. 2017. 139 с.
6. How Do Truck Rollovers Happen And What Follows. Avrek Law: веб-сайт. URL: https://www.avrek.com/blog/how-do-truck-rollovers-happen-and-what-follows/.
7. Load Restraint Guide 2025. URL : https://www.nhvr.gov.au/files/media/document/728/202506-1285-load-restraint-guide-2025.pdf
8. Gillespie T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics, 7th ed., SAE International, Warrendale, PA, 1992. https://doi.org/10.4271/r-114.
9. Bernard Jacob, Véronique Feypell-de La Beaumelle. Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology. IATSS Research. 2010. Vol. 34. Issue 1. P. 9-15. https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2010.06.003.
10. WIM – системи моніторингу ваги вантажного транспорту у русі. Winncom Technologies: веб-сайт. URL: https://winncom.ua/solutions/wim-systemy-monytorynga-vesa-gruzovogo-transporta-v-dvyzhenyy/.
11. Скільки тонн вантажу можна перевозити по Україні? АСД Центр: веб-сайт. URL: https://logist.kiev.ua/uk/skolko-tonn-gruza-mozhno-perevozit-po-ukraine-2/.

Хітров Ігор Олександрович **–** к.т.н., доцент, доцент доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua

Khitrov Ihor O. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua

УДК 656.1:625.745.1:004.942

І.О. Хітров, К. Ю. Мельничук

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗОК В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО РУХУ

Розглянуто сучасні підходи до моделювання транспортних розв'язок в умовах інтенсивного руху. Акцентовано увагу на використанні комп'ютерного моделювання для аналізу пропускної здатності, безпеки та ефективності організації руху. Визначено роль імітаційних моделей у прогнозуванні транспортних потоків та виявленні потенційних «вузьких місць» дорожньої інфраструктури. Окреслено можливості застосування інтелектуальних транспортних систем та програмних комплексів для оптимізації роботи транспортних вузлів. Запропоновано перспективи інтеграції сучасних технологій у процес управління дорожнім рухом.

Ключові слова: *транспортна розв'язка, інтенсивний рух, транспортний потік, моделювання, дорожня інфраструктура, оптимізація, пропускна здатність, безпека руху, міська мобільність, інтелектуальні транспортні системи.*

The examines modern approaches to modeling transport interchanges under conditions of intensive traffic. Particular attention is given to the use of computer-based modeling for analyzing capacity, safety, and the efficiency of traffic organization. The role of simulation models in forecasting traffic flows and identifying potential «bottlenecks» in road infrastructure is defined. The possibilities of applying intelligent transportation systems and software packages to optimize the operation of transport nodes are outlined. Prospects for integrating advanced technologies into the traffic management process are proposed.

Keywords: *truck, body structure, transportation safety, body types, center of mass, structural stability, freight transportation.*

У сучасних умовах зростання автомобілізації та урбанізації питання ефективної організації дорожнього руху набуває особливого значення [1]. Транспортні розв'язки є ключовими елементами транспортної інфраструктури, від функціонування яких залежить рівень безпеки, пропускної здатності та зручності для учасників руху. Використання методів моделювання дозволяє досліджувати складні транспортні процеси та знаходити оптимальні рішення для удосконалення роботи транспортних вузлів.

Моделювання є універсальним інструментом для аналізу та прогнозування поведінки транспортних потоків у різних умовах. Воно дає можливість виявити проблемні ділянки, перевірити ефективність запропонованих інженерних рішень та спрогнозувати вплив змін у схемі руху на загальну ситуацію [2]. Сучасні моделі враховують швидкісні режими, інтенсивність транспортних засобів, динаміку пішохідних потоків та фактори безпеки.

У науковій практиці застосовуються різні підходи до моделювання транспортних розв'язок [3-8]:

- аналогові методи (графічні схеми, спрощені математичні моделі);
- імітаційне моделювання з використанням програмних комплексів;
- мікромоделювання, що дозволяє враховувати поведінку окремих транспортних засобів та їх взаємодію;
- макромоделювання, орієнтоване на аналіз потоків у масштабах району або міста.
- інтелектуальні підходи (використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту для адаптивного управління рухом).

При високій насиченості транспортних потоків зростає ймовірність виникнення заторів, конфліктних ситуацій та аварій [9]. Моделювання дозволяє враховувати вплив пікових навантажень на пропускну здатність, необхідність оптимізації циклів світлофорного регулювання, вибір найбільш раціональної геометрії розв'язки (кільцевої, дворівневої, комбінованої), а також баланс між швидкістю руху та безпекою [10-11] .

Застосування сучасних підходів до моделювання транспортних розв'язок сприяє підвищенню ефективності роботи транспортної мережі, зменшенню заторів, економії часу та пального. Перспективними напрямами розвитку є [12]:

- інтеграція з інтелектуальними транспортними системами;
- використання даних із сенсорів, GPS та камер відеоспостереження;
- створення цифрових двійників транспортних вузлів;
- моделювання взаємодії автомобільного, громадського та пішохідного руху.

Таким чином, моделювання транспортних розв'язок є важливим інструментом підвищення ефективності дорожнього руху, особливо в умовах інтенсивного транспортного навантаження. Використання сучасних методів та програмних комплексів дозволяє отримати обґрунтовані рішення для проектування та реконструкції транспортної інфраструктури. Інтеграція інтелектуальних технологій у процес управління рухом створює умови для підвищення рівня безпеки, комфорту та сталого розвитку міської мобільності.

Список використаних джерел

1. Vukan R. Vuchic. Urban Transit Systems and Technology. Hoboken: Wiley, 2007. 624 p.
2. Ortúzar J. de D., Willumsen L. G. Modelling Transport. 4th ed. Chichester: Wiley, 2011. 606p.
3. Fellendorf M., Vortisch P. Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. In: Fundamentals of Traffic Simulation. *International Series in Operations Research & Management Science*. Vol. 145. Springer, New York, 2010. P. 63–93. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6_2.
4. Barceló J. Fundamentals of Traffic Simulation. International Series in Operations Research & Management Science. Vol. 145. Springer, New York, 2010. 442 p.
5. AnyLogic. Multimethod Simulation Modeling. AnyLogic North America, 2020. URL: https://www.anylogic.com (дата звернення: 12.09.2025).
6. Papageorgiou M., Diakaki C., Dinopoulou V., Kotsialos A., Wang Y. Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE*. 2003. Vol. 91. No. 12. P. 2043–2067. https://doi.org/10.1109/JPROC.2003.819610.
7. FHWA. Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2004. 75 p.
8. European Commission. White Paper on Transport: Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 28 p.
9. Трушевський В. М., Поліщук В. П. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник. Київ: Знання, 2012. 421 с.
10. Сурова О.С. Розроблена методика застосування транспортного моделювання. Базис : веб-сайт. https://pb-bazis.com/rozroblena-metodyka-zastosuvannia-transportnoho-modeliuvannia/stati/ (дата звернення: 12.09.2025).
11. Беспалов Д.О. Транспортне моделювання як один із методів оцінки ефективності інженерно-планувальних елементів розв'язок в різних рівнях. https://bespalov.me/2019/12/10/transportne-modeljuvannja-jak-odyn-iz-metodiv-ocinky-efektyvnosti-inzhenerno-planuvalnyh-elementiv-rozvjazok-v-riznyh-rivnjah/ (дата звернення: 12.09.2025).
12. Моделювання в транспортних технологіях. Частина І : монографія / за ред. А. В. Сохацького. Дніпро : УМСФ, 2022. 182 с.

Хітров Ігор Олександрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua

Мельничук Костянтин Юрійович – магістр освітньої програми «Транспортні технології (на автомобільному транспорті), кафедра транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування

Khitrov Ihor – PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua

Melnychuk Kostiantyn – Master's Degree Student of the Educational Program «Transport Technologies (in Road Transport) », Department of Transport Technologies and Technical Service, National University of Water and Environmental Engineering

УДК 656.1:65.012.8

І.О. Хітров, Є.О. Чайка

ВИКЛИКИ ТА РИЗИКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ У ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розглянуто проблему невизначеності як одного з ключових чинників, що впливають на управління діяльністю транспортного підприємства. Визначено зовнішні та внутрішні умови невизначеності, окреслено їхні основні ризики та практичні наслідки для функціонування підприємств транспортної сфери. Особливу увагу приділено зовнішнім ризикам, серед яких фінансово-економічні, правові, ринкові, політичні, соціальні, техногенні та глобальні. Розглянуто внутрішні фактори невизначеності, пов'язані з організаційною структурою, станом матеріально-технічної бази, кадровим потенціалом та рівнем цифровізації. Запропоновано практичні шляхи мінімізації негативних наслідків невизначеності шляхом упровадження стратегічного планування, сучасних методів управління ризиками, диверсифікації послуг і підвищення адаптивності підприємства.

Ключові слова: *транспортне підприємство; невизначеність; управління ризиками; конкурентоспроможність; стратегічне планування; адаптивність; стабільність діяльності.*

The examines the problem of uncertainty as one of the key factors influencing the management of transport enterprises. External and internal conditions of uncertainty are identified, along with their main risks and practical consequences for the functioning of the transport sector. Special attention is given to external risks, including financial-economic, legal, market, political, social, technological, and global ones. Internal sources of uncertainty such as organizational structure, technical condition of the fleet, human resources, and the level of digitalization are also analyzed. Practical approaches to minimizing the negative effects of uncertainty are proposed, including the implementation of strategic planning, modern risk management methods, service diversification, and enhancing enterprise adaptability.

Keywords: *transport enterprise, uncertainty, risk management, competitiveness, strategic planning, adaptability, operational stability.*

Сучасні транспортні підприємства функціонують у динамічному середовищі, яке постійно змінюється під впливом економічних, соціальних, технологічних і політичних факторів. Транспортна галузь безпосередньо пов'язана з економічною стабільністю країни та забезпеченням мобільності населення й бізнесу, тому вона особливо чутлива до різного роду невизначеностей. В умовах глобалізації, інтеграції в міжнародні ринки, а також воєнних і кризових обставин питання врахування невизначеності в управлінні діяльністю транспортного підприємства набуває першочергового значення. Мета цього дослідження полягає в аналізі зовнішніх та внутрішніх факторів невизначеності, їхнього впливу на діяльність транспортного підприємства та визначенні практичних підходів до мінімізації ризиків.

Невизначеність у діяльності транспортного підприємства – це стан, коли неможливо точно передбачити розвиток подій у зовнішньому або внутрішньому середовищі через наявність змінних факторів, які не піддаються повному контролю чи прогнозуванню. Вона виникає у зв'язку з обмеженістю інформації, швидкістю змін ринкових і технологічних умов, впливом політичних, економічних та соціальних процесів [1].

Ризик у цьому контексті є конкретним проявом невизначеності, що може мати як негативні, так і позитивні наслідки для підприємства. Іншими словами, невизначеність створює поле можливих сценаріїв, а ризик відображає ймовірність настання певного небажаного результату, пов'язаного з прийняттям управлінського рішення або зовнішніми обставинами [2].

Тому невизначеність і ризик слід розглядати у взаємозв'язку: невизначеність формує середовище функціонування, а ризики є конкретними загрозами чи можливостями, які з цього середовища випливають [4-6]. Для транспортного підприємства це означає необхідність не лише ідентифікувати потенційні джерела невизначеності, а й системно управляти ризиками, що з них походять.

Зовнішні умови є найбільш складними для прогнозування, адже підприємство не може безпосередньо впливати на них [1-3].

Економічні фактори охоплюють інфляційні процеси, коливання валютних курсів, зростання вартості пального й енергоносіїв, що безпосередньо впливають на собівартість перевезень.

Політико-правові аспекти включають постійні зміни у законодавстві, нові вимоги щодо екології, оподаткування чи митних процедур, які створюють додаткові ризики для підприємств.

Технологічні чинники пов'язані з упровадженням новітніх інформаційних технологій, автоматизацією процесів перевезень та диспетчеризації, що потребує значних інвестицій і водночас створює тиск конкуренції.

Соціально-демографічні зміни проявляються через міграційні процеси, рівень доходів населення та урбанізаційні тенденції, які визначають попит на транспортні послуги.

Форс-мажорні обставини, зокрема військові дії, пандемії або стихійні лиха, здатні повністю паралізувати роботу транспортних систем, що підтверджує практика останніх років.

Глобальні ризики зумовлені пандеміями, збоями в міжнародних логістичних мережах та перебоями у світових ланцюгах постачання.

В умовах постійної турбулентності зовнішнього середовища транспортні підприємства стикаються з низкою ризиків, які суттєво впливають на їхню діяльність.

Управління зовнішніми ризиками потребує від підприємств постійного моніторингу ринкових тенденцій, активної взаємодії з державними органами та гнучкої стратегії реагування на кризові явища. Для успішної діяльності транспортні підприємства повинні застосовувати комплекс практичних заходів (табл. 1).

Таблиця 1 – Дії перевізника в умовах невизначеності: заходи та інструменти

Дія перевізника	Мета та призначення	Приклади конкретних заходів та інструментів
Моніторинг та прогнозування	Збір актуальної інформації про стан доріг, попит, наявність вантажів і транспортних засобів для оцінки ризиків	Використання GPS та телематики для контролю руху; аналіз статистики попиту; відстеження погодних умов; моніторинг дорожніх обмежень
Планування з урахуванням резервів	Розробка альтернативних маршрутів і графіків доставки, передбачення резервних транспортних засобів і водіїв для забезпечення своєчасності перевезень	Створення резервних маршрутів у планувальнику; формування списку резервних водіїв; планування альтернативного автопарку; складання графіків з «вільним» часом
Використання інформаційних систем	Відстеження руху вантажу в реальному часі, оперативне реагування на зміни ситуації, інформування клієнтів	Використання систем відстеження вантажів; повідомлення клієнтам про статус доставки; інтеграція з онлайн-мапами та дорожніми сервісами
Управління ризиками та адаптація стратегії	Визначення потенційних ризиків, оцінка їхнього впливу та розробка заходів для мінімізації негативних наслідків	Аналіз ризиків (затори, погодні умови, поломки); оптимізація навантаження та маршрутів; страхування вантажів; коригування тарифів та графіку перевезень; планування обслуговування автопарку

Внутрішнє середовище підприємства також може бути джерелом ризиків та невизначеності, особливо коли відсутні ефективні механізми управління [2, 4].

Організаційна структура часто породжує проблеми, коли неузгодженість між підрозділами та бюрократизм уповільнюють процес прийняття рішень.

Матеріально-технічна база може стати фактором ризику через зношеність рухомого складу, нестачу запасних частин і низький рівень технічного обслуговування, що призводить до перебоїв у перевезеннях.

Кадрові ресурси визначаються дефіцитом висококваліфікованих спеціалістів, плинністю кадрів та недостатньою мотивацією персоналу, що підвищує внутрішню нестабільність.

Рівень цифровізації підприємства також є важливим фактором: відсутність сучасних систем моніторингу транспорту, автоматизованого обліку та управління логістикою створює ризики втрати конкурентних переваг.

Управлінські ризики можуть проявлятися через недоліки у плануванні, конфлікти інтересів і неефективний контроль, що посилює вплив зовнішніх факторів.

Передусім це впровадження стратегічного планування та системи прогнозування ринкових змін. Ефективним є використання сучасних методів управління ризиками для ідентифікації, оцінки й контролю загроз.

Диверсифікація видів послуг, напрямків перевезень і клієнтської бази дозволяє зменшити залежність від окремих ринків. Важливим є також інвестування в цифрові технології, автоматизовані системи моніторингу та диспетчеризації.

Необхідною умовою є гнучка кадрова політика, підвищення кваліфікації персоналу, розвиток корпоративної культури та формування фінансових резервів. Антикризові плани допомагають швидко реагувати на непередбачувані обставини.

Таким чином, невизначеність є невід'ємною складовою функціонування транспортних підприємств у сучасних умовах. Вона проявляється як у зовнішньому середовищі (економічному, політичному, технологічному), так і у внутрішньому (організаційному, кадровому, технічному). Повністю усунути її неможливо, проте ефективне управління ризиками, адаптивність та гнучкість системи управління дозволяють мінімізувати негативні наслідки й забезпечити стабільність роботи підприємства. Вкрай важлива швидка адаптація для конкурентоспроможності транспортних підприємств.

Список використаних джерел

1. Jüttner U., Peck H., Christopher M. Supply Chain Risk Management: Outlining an Agenda for Future Research. *International Journal of Logistics Research and Applications*. 2003. Vol. 6(4). P. 197–210. https://doi.org/10.1080/1367556031000162701 6.

2. Kersten W., Blecker T., Ringle C. M. (eds). Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains: Technologies, Business Models and Risk Management. Proceedings of the Hamburg *International Conference of Logistics (HICL)*. 2014. Vol. 20. 450 p.

3. Куташенко М. В. Сутність ризику і причини його виникнення. *Інвестиції: практика та досвід*. 2009. № 6. С. 45–48.

4. Тарашевський М. М. Стан управління ризиками на транспортних підприємствах України. *Бізнес Інформ*. 2020. №8. С. 125–133. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-125-133.

5. Macharis C. The Importance of Stakeholder Analysis in Freight Transport. *European Transport*. 2005. Vol. 25-26. P. 114–126.

6. Lahuta P., Kardoš P., Hudáková M. Integrated Risk Management System in Transport. *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 55, P. 1530–1537. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.142.

Хітров Ігор Олександрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua

Чайка Євген Олександрович – магістр освітньої програми «Транспортні технології (на автомобільному транспорті), кафедра транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування

Khitrov Ihor – PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua

Chaika Yevhen – Master's Degree Student of the Educational Program «Transport Technologies (in Road Transport) », Department of Transport Technologies and Technical Service, National University of Water and Environmental Engineering

УДК 656.078

С.В. Цимбал, В.С. Глиняний

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Розглянуто впровадження сучасних технологій та інновацій у сферу пасажирських перевезень. Проаналізовано основні напрями цифровізації транспортної системи, зокрема використання мобільних додатків для відстеження руху транспорту, систем електронної оплати проїзду, онлайн-покупки квитків та автоматичного оповіщення про зміни у розкладі. Особливу увагу приділено розвитку екологічного транспорту. Визначено переваги використання штучного інтелекту й інтелектуальних систем керування рухом, а також окреслено основні виклики, з якими стикається Україна на шляху цифрової модернізації транспорту. Зроблено висновок, що інновації у транспортній галузі є ключовим чинником підвищення ефективності перевезень, екологічної безпеки та комфорту пасажирів.

Ключові слова: *транспорт, інновації, технології, цифровізація, мобільні додатки, електронний квиток, онлайн-оплата, GPS, електробуси, безпілотний транспорт, Smart City, екологічність, автоматизація, штучний інтелект, система перевезень.*

The introduction of modern technologies and innovations in the field of passenger transportation is considered. The main directions of digitalization of the transport system are analyzed, in particular, the use of mobile applications for tracking transport traffic, electronic fare payment systems, online ticket purchase and automatic notification of schedule changes. Particular attention is paid to the development of ecological transport. The advantages of using artificial intelligence and intelligent traffic control systems are identified, and the main challenges that Ukraine faces on the path to digital modernization of transport are outlined. It is concluded that innovations in the transport industry are a key factor in increasing transportation efficiency, environmental safety and passenger comfort.

Keywords: *transport, innovation, technology, digitalization, mobile applications, electronic ticket, online payment, GPS, electric buses, unmanned transport, Smart City, environmental friendliness, automation, artificial intelligence, transportation system.*

У сучасному світі транспорт є одним із ключових елементів інфраструктури будь-якої держави. Від ефективності транспортної системи залежить рівень мобільності населення, розвиток економіки, зручність пересування та якість життя громадян. Останні десятиліття характеризуються стрімким розвитком цифрових технологій, що істотно змінюють усі сфери життя, зокрема й транспорт. Впровадження інновацій у транспортну систему – це не лише питання зручності, а й необхідність, продиктована зростанням міст, підвищенням екологічних вимог та потребою оптимізації логістичних процесів.

Сучасні технології дозволяють зробити перевезення швидшими, безпечнішими, екологічнішими та доступнішими. Серед таких рішень – мобільні додатки для відстеження руху автобусів, системи електронної оплати проїзду, онлайн-покупка квитків, оповіщення про зміни у розкладі та впровадження електричних автобусів і безпілотного транспорту. Саме завдяки цим нововведенням міста стають більш комфортними для життя, а транспорт – більш ефективним та орієнтованим на потреби людини.

Мобільні додатки для відстеження руху транспорту

Одним із найпопулярніших технологічних нововведень у сфері громадського транспорту є мобільні додатки, що дозволяють пасажирам у реальному часі відстежувати місцезнаходження автобусів, трамваїв чи тролейбусів. Такі системи базуються на використанні GPS-технологій, які передають дані з транспортних засобів на центральний сервер, а потім – у мобільні додатки або вебплатформи.

Завдяки цим інноваціям пасажири можуть планувати свій маршрут з урахуванням часу прибуття транспорту, уникати тривалого очікування на зупинках, а також отримувати актуальну інформацію про затримки чи зміни у розкладі. Крім того, такі технології знижують навантаження на диспетчерські служби, оскільки громадяни можуть самостійно перевіряти потрібну інформацію.

У світовій практиці подібні рішення стали стандартом. Наприклад, у Лондоні працює

система Transport for London, у якій можна не лише відстежити рух транспорту, а й отримати рекомендації щодо найзручнішого маршруту. В Україні популярними є додатки EasyWay, CityBus, Moovit, які активно розвиваються і вже охоплюють більшість великих міст.

Онлайн-покупка квитків та електронна оплата проїзду

Ще однією важливою складовою цифровізації транспортної системи є впровадження електронних систем оплати проїзду. Традиційні паперові квитки поступово відходять у минуле, поступаючись місцем QR-кодам, транспортним карткам, банківським оплатам через NFC або мобільні додатки. Це забезпечує зручність для пасажирів, економію часу, прозорість фінансових операцій та можливість збору статистики для аналізу пасажиропотоків.

Такі системи впроваджуються у багатьох містах України: у Києві діє система Kyiv Smart Card, у Львові – ЛеоКарт, у Вінниці – електронний квиток VinCard. Вони дозволяють здійснювати оплату одним дотиком або за допомогою смартфона, а також уніфікують оплату у різних видах транспорту.

У світі цей напрям розвивається ще активніше. Наприклад, у Сінгапурі та Гонконзі пасажири користуються повністю безготівковими системами, що дозволяють оплачувати проїзд банківською карткою або мобільним телефоном у будь-якому виді транспорту – від автобуса до метро.

Системи оповіщення про зміни у розкладі

Оперативна інформація – ключ до зручності користування громадським транспортом. Системи автоматичного оповіщення дозволяють пасажирам миттєво отримувати сповіщення про зміни у розкладі руху, тимчасові затримки чи ремонтні роботи. Такі повідомлення надходять через мобільні додатки, електронні табло на зупинках або навіть через SMS чи месенджери. У деяких містах України вже встановлені електронні табло, що показують час прибуття транспорту у реальному часі, наприклад у Львові, Дніпрі та Києві.

Це підвищує рівень поінформованості громадян і сприяє зменшенню хаотичного скупчення людей на зупинках у пікові години. До того ж, такі системи допомагають оптимізувати рух транспорту, адже дозволяють диспетчерам швидше реагувати на зміни у дорожній ситуації.

Впровадження екологічного транспорту: електробуси та гібридні системи

Окрім цифрових рішень, важливою частиною технологічного розвитку є модернізація самого транспортного парку. Усе більше міст по всьому світу переходять на електричні автобуси або гібридні транспортні засоби, що значно зменшують шкідливі викиди в атмосферу. Електробуси мають екологічність, зниження рівня шуму у містах, нижчі експлуатаційні витрати у довгостроковій перспективі та підвищують імідж міста як сучасного та екологічно свідомого.

Україна також робить кроки у цьому напрямку. Наприклад, у Львові, Дніпрі, Вінниці та Києві закуповуються електробуси, модернізуються тролейбуси та трамваї, що споживають менше енергії. Це не лише зменшує навантаження на навколишнє середовище, а й сприяє енергетичній незалежності країни.

Безпілотний транспорт і «розумні» системи керування рухом

Світові тенденції у сфері транспорту спрямовані на автоматизацію процесів. У багатьох країнах уже тестуються безпілотні автобуси та автоматизовані системи управління дорожнім рухом. Такі системи використовують штучний інтелект, камери, сенсори та аналіз даних у реальному часі. Вони здатні не лише забезпечити безпечніше пересування, а й оптимізувати транспортні потоки, скоротивши затори та час поїздки.

В Україні такі технології ще перебувають на етапі досліджень, однак потенціал їхнього застосування дуже великий. Безпілотні технології можуть використовуватись на промислових територіях, у закритих міських маршрутах або як частина пілотних проектів у Smart City.

Виклики та перспективи впровадження

Попри очевидні переваги, впровадження сучасних технологій у транспортній системі стикається з низкою труднощів. Серед основних проблем – недостатнє фінансування, технічна застарілість транспорту, відсутність єдиних стандартів для обміну даними між транспортними операторами, а також низький рівень цифрової грамотності частини населення. Важливо, щоб держава створювала сприятливі умови для розвитку цифрових транспортних рішень, залучала інвестиції та підтримувала місцеві IT-компанії, які розробляють інноваційні продукти.

Перспективи розвитку цифрового транспорту в Україні є надзвичайно широкими. У

найближчі роки очікується:

- створення єдиної національної транспортної платформи для всіх видів перевезень;
- розвиток мультимодальних перевезень, коли пасажир користується кількома видами транспорту за одним квитком;
- впровадження елементів штучного інтелекту для прогнозування заторів і керування маршрутами;
- збільшення кількості екологічного транспорту та зарядних станцій для електробусів;
- інтеграція транспортних рішень у концепцію «розумних міст».

Соціально-економічний ефект від впровадження інновацій

Технологічна модернізація транспорту має значний вплив на соціально-економічний розвиток країни. Вона сприяє зменшенню витрат часу громадян на поїздки, підвищенню ефективності логістики, створенню нових робочих місць у сфері ІТ та інфраструктури. Крім того, цифровізація транспорту сприяє прозорості фінансових потоків і зменшенню корупційних ризиків, що є важливим фактором для державного управління.

Впровадження інновацій також сприяє покращенню іміджу міста в очах туристів і інвесторів. Сучасний, екологічний та ефективний транспорт – це ознака розвиненого європейського підходу до управління міським простором.

Висновок

Впровадження інноваційних технологій у сферу перевезень – це не просто крок уперед, а стратегічна необхідність для сталого розвитку міст і комфортного життя громадян. Мобільні додатки, онлайн-оплата, електронні квитки, системи оповіщення, екологічні автобуси та інтелектуальні системи керування рухом уже сьогодні формують обличчя сучасного транспорту. У майбутньому транспортні системи стануть ще більш інтегрованими, безпечними, екологічними та орієнтованими на людину. Україна має всі передумови, щоб стати частиною цієї глобальної транспортної революції.

Список використаних джерел

1. Винниченко, І. В. Інноваційні технології в системі міських пасажирських перевезень. Київ: Наукова думка, 2022. – 215 с.
2. Гусєв, М. А. Сучасні інформаційні системи управління транспортом. Харків: ХНАДУ, 2021. 184 с.
3. Державне агентство інфраструктурних проєктів України. Цифрова трансформація транспорту: аналітичний звіт. – Київ, 2023. – 54 с.
4. Transport for London (TfL): Annual Report 2024. London, 2024. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://tfl.gov.uk
5. European Commission. Smart Mobility and Transport Strategy 2023–2030. Brussels, 2023. 82p.
6. Коваленко, Л. П. Розвиток електричного транспорту як основа сталого міського середовища. // Вісник Національного транспортного університету. 2022. № 3. С. 45–52.
7. Moovit App Global. Urban Mobility Index 2024. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://moovitapp.com
8. Мельник Т. С. Впровадження систем електронного квитка в Україні: досвід та перспективи. // Економіка та суспільство. 2023. № 45. С. 112–118.
9. Kyiv Smart City 2024: офіційний звіт про цифрову інфраструктуру міста. – Київська міська рада, 2024. 60 с.

Цимбал Сергій Володимирович **–** кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Глиняний Віктор Сергійович **–** аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: victorglin9@gmail.com

Tsymbal Serhii V. **–** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Hlynyany Viktor S. – Postgraduate Student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: victorglin9@gmail.com

УДК 656.078

С.В. Цимбал, Р.В. Мельник

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ НА ПРИКЛАДІ АТ «FOZZY GROUP»

Розглянуто особливості функціонування системи транспортної логістики на прикладі АТ «FOZZY GROUP». Проаналізовано основні напрями організації транспортних процесів, їх вплив на ефективність логістичної діяльності підприємства та рівень оптимізації витрат. Визначено ключові чинники, що забезпечують підвищення конкурентоспроможності підприємства через удосконалення транспортно-логістичної системи.

Ключові слова: *транспортна логістика, логістична система, ефективність перевезень, оптимізація витрат, АТ «FOZZY GROUP».*

The peculiarities of the functioning of the transport logistics system are considered using the example of JSC "FOZZY GROUP". The main directions of the organization of transport processes, their impact on the efficiency of the logistics activity of the enterprise and the level of cost optimization are analyzed. The key factors that ensure the increase in the competitiveness of the enterprise through the improvement of the transport and logistics system are identified.

Keywords: *transport logistics, logistics system, transportation efficiency, cost optimization, JSC "FOZZY GROUP".*

У сучасних умовах глобалізації та активного розвитку внутрішнього ринку логістика, зокрема вантажні перевезення, набувають ключового значення для забезпечення ефективної діяльності підприємств. Особливу роль у цьому процесі відіграють великі торговельні корпорації, зокрема АТ «FOZZY GROUP», яка є однією з найбільших торговельно-промислових груп в Україні. Саме на таких підприємствах зосереджується значний обсяг товарних потоків, що вимагає високого рівня організації перевезень, оптимізації логістичних маршрутів, зниження витрат і підвищення ефективності управління транспортними

АТ «FOZZY GROUP» побудувало власну логістичну модель, що об’єднує внутрішню мережу з декількох десятків складів і дистрибуційних центрів по всій Україні. Центральне ядро– це головні логістичні хаби, звідкіля вантаж надходить до регіональних платформ, а далі до магазинів власного ритейлу (Сільпо, Фора, Le Silpo тощо) або зовнішніх клієнтів. Така ієрархічна модель доставки забезпечує високу концентрацію вантажопотоків, дозволяє ефективно використовувати великовантажні автомобілі для основних маршрутів і менші – для регіональних доставок.

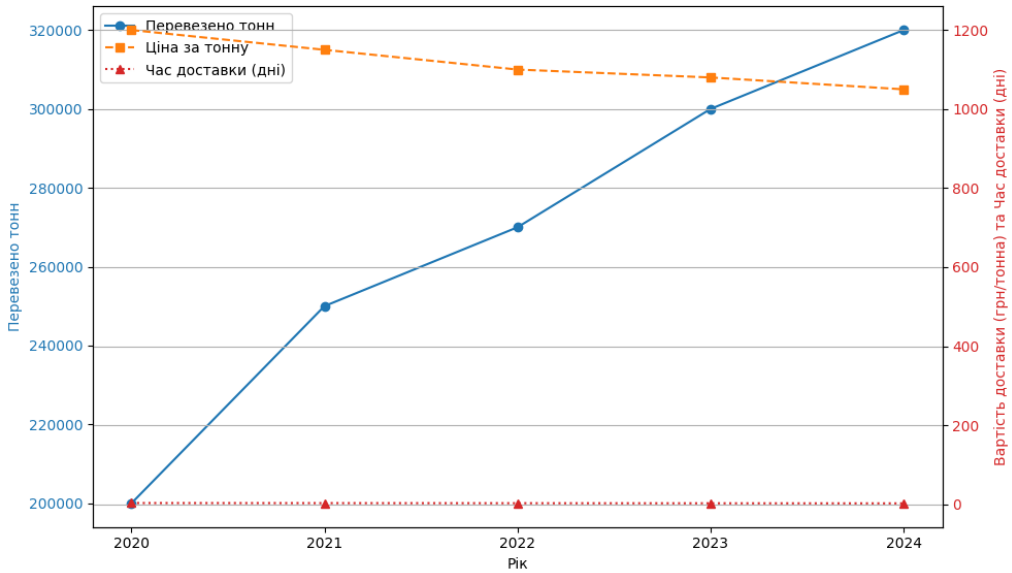


Рисунок 1 – Аналіз ефективності вантажних перевезень АТ «FOZZY GROUP» (2020-2024)

У період з 2020 р. по 2024 р. АТ «FOZZY GROUP» демонструє поступове зростання ефективності у сфері вантажних перевезень, що підтверджується стабільним покращенням трьох основних логістичних показників: обсягу перевезень, вартості доставки та середнього часу доставки.

Протягом п'яти років спостерігається постійне збільшення обсягів перевезених вантажів: з 200 тисяч тонн у 2020 році до 320 тисяч тонн у 2024. Це свідчить про розширення логістичної діяльності компанії, зростання її транспортних потужностей, а також підвищення довіри з боку партнерів і клієнтів.

На тлі зростання вантажообігу помітне й зменшення вартості перевезення однієї тонни вантажу. Якщо у 2020 році цей показник становив 1200 грн, то у 2024 році він знизився до 1050 грн.Така тенденція вказує на ефективну оптимізацію внутрішніх процесів: можливо, за рахунок модернізації автопарку, впровадження цифрових систем управління логістикою або підвищення заповнюваності транспорту.

Ще одним важливим показником є середній час доставки. За п'ять років він скоротився з 3,2 до 2,4 днів. Це зменшення відображає покращення організації маршрутів, підвищення швидкості обробки замовлень, а також, імовірно, розвиток інфраструктури складів та розподільчих центрів компанії.

Усі три показники – обсяг перевезень, вартість за тонну та час доставки – демонструють позитивну динаміку. Компанія не лише обробляє дедалі більше вантажів, але й робить це швидше та дешевше. Це вказує на комплексний підхід до розвитку логістики: від інвестицій у матеріально-технічну базу до цифровізації процесів.

В аналізі необхідно враховувати кілька груп ключових показників ефективності. Фінансові показники – валові витрати на транспортну логістику, включно з усіма прямими (паливо, заробітна плата водіїв, амортизація авто) і непрямими витратами (адміністративні витрати диспетчерів, IT-підтримка), і вартість на одиницю перевезеного товару (співвідношення загальних витрат до тонно-кілометрів). Ефективність також відображається в операційних показниках – коефіцієнті заповнення кузовів, частоті порожніх пробігів, продуктивності екіпажів, плануванні маршрутів тощо.

Оцінка заповнення показує зіставлення обсягу завантаження із загальною місткістю транспорту. У FOZZY цей індикатор стабільно знаходиться на рівні понад 85 %, що означає не лише ретельне планування поєднуваних маршрутів, але й гнучкість у перевербуванні вантажопотоку. Порівняльний аналіз минулих періодів демонструє, що зупинок через дефіцит повного завантаження практично немає, як і випадків перевантаження машин понад допустимі габарити, що свідчить про високий рівень контролю і планування.

Продуктивність транспорту FOZZY вимірюється в тонно-кілометрах. За останні три роки цей KPI зріс приблизно на 15 %, що є результатом модернізації парку (перехід на більш місткі і економічні моделі авто), оптимізації маршрутів та використанні систем прогнозування піків попиту (наприклад, під час святкових або промоційних періодів).

Управління автопарком ведеться через централізовану диспетчерську службу, яка використовує GPS-моніторинг, контроль витрат пального, аналіз стану транспорту у режимі реального часу. Під час планування маршруту враховується не лише кілометраж, а й транспортні обмеження (ваги/габарити мостів, заборони на рух фур у містах вдень), прогнози дорожніх умов та погоди. Така синергія дозволяє скорочувати простої, уникати штрафів і знижувати загальний час цикла рейсу.

Аналіз витрат щодо пального є особливо показовою складовою. Завдяки автоматичному обліку по картках і датчикам витрат пального, компанія змогла знизити нецільове витрачання на 8–12 % за рік. Для контролю використовується система «fuel-gate», яка порівнює фактичні і нормативні витрати, і в разі перевищень – автоматично повідомляє диспетчера й вживають заходів – нагадування водію або обслуговування двигуна.

Щодо людського фактору, FOZZY інвестує в підвищення кваліфікації водіїв: проводяться тренінги з економічного кермування, безпеки руху, роботи з GPS-навігацією, процедур доставки. Це мало прямий вплив на кількість аварій і порушень ПДР – реально показники пригодності (інцидентів на 100 тис. км) зменшилися на 20 %, що має важливу роль у збереженні активів і зниженні страхових премій.

Моніторинг своєчасності – ще один блок аналізу. KPI доставки «до регіону» (адреса магазину або клієнта) фіксує рівень своєчасного прибуття. У 2024 році рівень доставок «у вікно» склав 97,3 %, що дозволило уникнути штрафів за несвоєчасність і підвищити рівень задоволеності клієнтів. У дні пікового навантаження (Black Friday, великі акції) цей показник залишається в межах 94–96 %.

Технологічна складова трансформації логістики полягає у впровадженні ML-модулів для прогнозування попиту та автоматичної маршрутизації. Система аналізує історію замовлень, сезонні цикли, атмосферні умови, довгі вихідні, інфраструктурні події та дорожні ремонти, і саме на основі таких комплексних даних формує маршрутні карти. У результаті організовано поетапне перенаправлення вантажів у разі перевантажень або затримок, що скорочує витрати та знижує прозростання затрат.

Стратегічно FOZZY застосовує модель «гібридного» автопарку: власні фури забезпечують стабільний обсяг перевезень, тоді як орендовані – гнучкість у моменти пікових навантажень. Власний парк забезпечує нижчу вартість тонно-кілометрових перевезень завдяки ефективній амортизації, а орендований – уникає зайвих капіталовкладень. Це створює збалансовану модель з оптимальним співвідношенням CAPEX і OPEX.

IT-інфраструктура інтегрована з ERP-системою, яка забезпечує наскрізний контроль зі складу до замовника. Диспетчери отримують миттєві звіти: де знаходиться машина, чи є затримки, скільки вантажу залишилося, з якими клієнтами зв’язуються кур'єри останньої милі і т.д. На основі цих даних автоматично формуються коригування маршрутів – наприклад, при оповещенні про затор система відправляє альтернативний транспорт або перепризначає водія.

Бізнес-аналітика – це основа ухвалення рішень. Місячні і квартальні звіти містять аналіз відхилень KPI, рекомендації з напрямків оптимізації, аналіз виконавців (партнерів, водіїв), глибокий аналіз по моделях авто та маршрутних сегментах. Це створює основу для коригувань і майбутніх інвестицій, наприклад, модернізації потоків, оновлення транспорту або впровадження нових технологій.

Інвестиції в сучасне обладнання складських майданчиків – ще один фактор ефективності. Автоматизовані конвеєрні системи, розподільчі платформи, цифрова сортувальна техніка дозволяють в короткий час обробити надходження й розподілити його на маршнтури. Час обробки вантажу скоротився на 20 % після оновлення складської техніки, що прямо вплинуло на швидкість вантажопотоку.

Оцінка ризиків включає комплексний підхід до невизначеності – від заторів і погодних аномалій до рейдерських атак і змін регуляторної інфраструктури. За допомогою GIS-систем відстежується дорожня мережа, реальні автомобільні потоки, погодні явища, а база моделей управління ризиками забезпечує швидке реагування. Так, у випадку негоди або блокування ділянки дороге рішення включає об’їзди, зміни графіків роботи, зміну типу транспорту і навіть розбивку вантажу між автомобілями.

Аналіз ефективності вантажних перевезень АТ «FOZZY GROUP» свідчить про те, що компанія успішно реалізує комплексний підхід до організації транспортної логістики, що є одним із ключових факторів її стабільного розвитку та конкурентоспроможності на ринку. В основу діяльності покладено принципи оптимізації процесів, що забезпечують раціональне використання ресурсів, зниження витрат та підвищення якості обслуговування клієнтів. Такий підхід є надзвичайно важливим у сучасних умовах, коли ринок вантажних перевезень характеризується високою динамікою та постійними змінами зовнішніх факторів, таких як ціни на паливо, зміни законодавства, транспортна інфраструктура та економічна кон’юнктура.

Управлінська стратегія компанії спрямована на впровадження сучасних технологій моніторингу та управління транспортом, що дозволяє не лише контролювати поточний стан перевезень, а й прогнозувати можливі ризики та оперативно реагувати на них. Впровадження автоматизованих систем планування маршрутів і відстеження вантажів сприяє підвищенню прозорості логістичних процесів і зменшенню часу доставки, що в цілому позитивно позначається на ефективності діяльності.

Гнучкість у формуванні маршрутів і виборі оптимальних логістичних схем дозволяє адаптуватися до сезонних коливань обсягів перевезень та особливостей регіональної інфраструктури. Це сприяє уникненню зайвих витрат, пов’язаних із простоєм транспортних засобів або їх нераціональним використанням. Окрім того, завдяки налагодженій системі

взаємодії з постачальниками та замовниками, АТ «FOZZY GROUP» підтримує високий рівень сервісу, що позитивно впливає на довіру клієнтів та їх лояльність.

Систематичний аналіз ключових показників ефективності, таких як обсяги перевезених вантажів, витрати на паливо, час виконання замовлень, дає змогу виявляти вузькі місця в логістичній ланці та оперативно впроваджувати заходи з їх усунення. Такий проактивний підхід сприяє не лише підвищенню продуктивності, а й зниженню загальних витрат на вантажні перевезення, що є важливою складовою фінансової стабільності компанії.

Особливу увагу приділено екологічним аспектам транспортування. Використання сучасних транспортних засобів із покращеними показниками паливної ефективності та зниженими викидами шкідливих речовин не лише відповідає міжнародним стандартам, але й позитивно впливає на імідж компанії як соціально відповідального бізнесу.

АТ «FOZZY GROUP» демонструє високий рівень організації вантажних перевезень, що базується на збалансованому поєднанні інноваційних технологій, професійного менеджменту та системного аналізу операційної діяльності. Це дозволяє компанії ефективно реагувати на виклики ринку, підтримувати конкурентні переваги і забезпечувати стабільне зростання. В подальшому, з огляду на тенденції розвитку транспортної галузі, ключовими напрямами удосконалення залишатимуться цифровізація логістики, оптимізація маршрутів із урахуванням екологічних та економічних факторів, а також подальше вдосконалення клієнтського сервісу.

Загалом, результати аналізу свідчать, що АТ «FOZZY GROUP» успішно поєднує якість обслуговування із контролем витрат, що є запорукою її стійкого позиціонування на українському ринку вантажних перевезень і забезпечує перспективи для подальшого розвитку та розширення бізнесу.

Список використаних джерел

1. Балабанова, Л. В., & Сардак, О. В. (2021). Логістика: теорія та практика управління матеріальними потоками. Київ: Центр учбової літератури.
2. Крикавський, Є. В. (2019). Логістика та управління ланцюгами постачань. Львів: Видавництво Львівської політехніки.
3. Офіційний сайт АТ «FOZZY GROUP». (2025). Інформація про логістичну діяльність компанії. – Режим доступу: https://fozzy.ua
4. Мальцева, О. О. (2020). Аналіз сучасних тенденцій розвитку транспортної логістики в Україні. Економіка та держава, № 11, с. 85–89.
5. Christopher, M. (2016). Logistics & Supply Chain Management (5th ed.). Pearson Education Limited.

Цимбал Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Мельник Руслана Володимирівна – аспірантка кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: ruslaaana69@gmail.com

Tsymbal Serhii V. **–** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Melnyk Ruslana V. – Postgraduate Student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ruslaaana69@gmail.com

УДК 656.078

С.В. Цимбал, О.А. Сокур

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПАСАЖИРОМ ЩОДО ВИБОРУ ВИДУ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Розглянуто теоретичні та практичні аспекти моделювання вибору пасажиром виду транспорту в межах міста. Визначено основні фактори, що впливають на прийняття рішення користувачем між альтернативними засобами пересування: час у дорозі, вартість, комфорт, доступність, екологічність та цифрові сервіси. Описано математичний апарат дискретних моделей вибору, що дозволяє оцінювати ймовірність використання різних видів транспорту. Наведено алгоритм побудови моделі та підходи до збору даних.

Ключові слова: *міська мобільність, транспортна система, вибір виду транспорту, моделювання попиту, транспортне планування.*

The theoretical and practical aspects of modeling passenger choice of transport mode within the city are considered. The main factors influencing the user's decision-making between alternative means of transportation are identified: travel time, cost, comfort, accessibility, environmental friendliness and digital services. The mathematical apparatus of discrete choice models is described, which allows assessing the probability of using different modes of transport. The algorithm for building the model and approaches to data collection are presented.

Keywords: *urban mobility, transport system, choice of transport mode, demand modeling, transport planning.*

У сучасних умовах урбанізації, зростання чисельності населення та інтенсивності руху міські транспортні системи зазнають значних навантажень. Ефективне управління пасажиропотоками стає важливою передумовою сталого розвитку міста, скорочення шкідливих викидів та підвищення якості життя населення. Одним із ключових елементів цього процесу є вибір пасажиром виду транспорту, який визначає структуру попиту на транспортні послуги.

Моделювання такого вибору дозволяє прогнозувати зміну транспортної поведінки, оптимізувати маршрути та інтегрувати нові форми мобільності, такі як електроскутери або каршеринг. Це створює можливість переходу до більш гнучкої, безпечної й екологічно збалансованої транспортної системи.

Процес вибору транспортного засобу є багатофакторним і залежить як від об’єктивних характеристик (вартість, швидкість, доступність), так і від суб’єктивних уподобань пасажира (звички, рівень доходу, екологічна свідомість). Серед основних чинників впливу виділяють:

- час у дорозі (з урахуванням пересадок та очікування);
- вартість поїздки;
- рівень комфорту та безпеки;
- доступність (територіальна й фізична);
- екологічність виду транспорту;
- цифрові сервіси (мобільні додатки, електронна оплата, відстеження руху транспорту).

Для формалізації процесу вибору застосовують дискретні моделі вибору, серед яких найпоширенішими є:

- Модель множинного логіту (Multinomial Logit Model, MNL) – оцінює ймовірність вибору кожного виду транспорту серед множини альтернатив.
- Ієрархічна (nested) логіт-модель – враховує групування альтернатив за подібними характеристиками.
- Агентне моделювання (Agent-Based Modeling) – дозволяє описати поведінку окремих пасажирів у взаємодії з транспортною інфраструктурою.

Ймовірність вибору пасажиром певного виду транспорту визначається за моделлю:

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j=1}^{n} e^{V_j}}$$

де P_i – ймовірність вибору виду транспорту i;

V_i – узагальнена корисність виду транспорту, що відображає сприйняття пасажиром привабливості цього виду пересування.

Функція корисності може мати вигляд:

$$V_i = \beta_1 \cdot T_i + \beta_2 \cdot C_i + \beta_3 \cdot S_i + \beta_4 \cdot K_i + \beta_5 \cdot E_i$$

де T_i – час у дорозі;

C_i – вартість поїздки;

S_i – рівень сервісу (комфорт, регулярність);

K_i – коефіцієнт доступності;

E_i – екологічна привабливість;

β_n – параметри вагомості, визначені на основі соціологічних опитувань або статистичних даних.

Алгоритм побудови моделі вибору виду транспортного засобу наведений на рисунку 1



Рисунок 1 - Алгоритм побудови моделі вибору виду транспортного засобу

1. Збір вихідних даних: соціально-демографічні характеристики населення, тарифи, інтервали руху, транспортна доступність.
2. Розрахунок узагальнених витрат пасажирів, що включають часові та грошові витрати, приведені до єдиної оцінки.
3. Формування матриці альтернатив для різних категорій пасажирів – працівників, студентів, туристів тощо.
4. Оцінка параметрів моделі методом максимальної правдоподібності.
5. Валідація результатів – порівняння прогнозних і фактичних показників пасажиропотоків.
6. Розроблення сценаріїв розвитку (наприклад, впровадження електробусів, зміна тарифів, розвиток велосипедної інфраструктури).

Моделювання дозволяє: прогнозувати частку користувачів для кожного виду транспорту; оцінювати вплив зміни тарифів або часу в дорозі на попит; обґрунтовувати доцільність відкриття нових маршрутів або модернізації інфраструктури; формувати оптимальні сценарії транспортної політики міста; сприяти переходу до сталої мобільності та скороченню негативного впливу транспорту на довкілля.

Висновки

Моделювання вибору пасажиром виду транспорту є одним із ключових напрямів сучасного транспортного планування. Використання дискретних моделей, цифрових

аналітичних систем і великих даних дає змогу: підвищити ефективність управління міськими перевезеннями; оптимізувати транспортну мережу; зменшити перевантаження доріг і викиди шкідливих речовин; сформувати інтелектуальну транспортну систему.

Таким чином, математичне моделювання стає інструментом прийняття науково обґрунтованих управлінських рішень у сфері міської мобільності.

Список використаних джерел

1. Барановський О. В. Транспортне планування міст: методи та моделі. – Київ: Логос, 2021. – 284 с.

2. Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. Modelling Transport. – 5th ed. – Chichester: Wiley, 2011. – 607 p.

3. Litman, T. Transportation Elasticities: How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior. – Victoria Transport Policy Institute, 2023. – 45 p.

4. Banister, D. Transport, Planning and the Environment. – London: Taylor & Francis, 2019. – 322 p.

5. Axhausen, K. W., & Gärling, T. Activity-based approaches to travel analysis. – Pergamon, 1992. – 335 p.

6. Іванченко І. М., Мельник П. О. Сучасні методи транспортного моделювання. – Харків: ХНАДУ, 2020. – 198 с.

Цимбал Сергій Володимирович **–** кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Сокур Олег Анатолійович **–** аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vn_torg@ukr.net

Tsymbal Serhii V. **–** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Sokur Oleh A. – Postgraduate Student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vn_torg@ukr.net

УДК 629.33+629.43

С.М. Черненко, О.А. Мурашко

АВТОМОБІЛІ НА КОМБІНОВАНОМУ ХОДУ З МОЖЛИВІСТЮ РУХУ ПО ЗАЛІЗНИЧНИМ КОЛІЯМ

Автомобілі на комбінованому ходу, що поєднують можливості руху як по автомобільних дорогах, так і по залізничних коліях, є важливим інструментом для підвищення мобільності транспорту в умовах змішаних інфраструктур. Розвиток таких транспортних засобів забезпечує ефективне використання залізничної і автомобільної мережі, знижуючи витрати часу та ресурсів на перевезення. Інноваційні технології, такі як гібридні та електричні приводи, а також системи резервного приводу в локомобілях, дозволяють підвищити екологічну безпеку та ефективність використання автомобілів на комбінованому ходу.

Ключові слова: *автомобілі на комбінованому ходу, локомобілі, гібридні автомобілі, гідропривід, резервний привід.*

Combined traction vehicles, which integrate the ability to move on both highways and railway tracks, are an essential tool for enhancing transport mobility in mixed infrastructures. The development of such vehicles ensures the efficient use of both railway and road networks, reducing time and resource consumption in transportation. Innovative technologies, such as hybrid and electric drivetrains, as well as backup drive systems in locomobiles, enhance environmental safety and improve the efficiency of combined traction vehicles.

Keywords: *combined traction vehicles, locomobiles, hybrid vehicles, hydraulic drive, backup drive.*

Актуальність теми дослідження автомобілів на комбінованому ходу з можливістю руху по залізниці (локомобілів) обумовлена сучасними вимогами до транспортної інфраструктури, зокрема необхідністю підвищення ефективності та безпеки перевезень в умовах швидко змінюваних логістичних і технічних умов. В останні десятиліття спостерігається зростання попиту на універсальні транспортні засоби, які можуть здійснювати переміщення як по автомобільних дорогах, так і по залізничних коліях. Це особливо актуально для обслуговування віддалених ділянок, виконання ремонтних робіт на залізничних коліях, а також для зниження витрат на транспортування вантажів, коли необхідно поєднати переваги автомобільного та залізничного транспорту.

Метою даної роботи є аналіз сучасного розвитку локомобілів та технологій, що використовуються в їх конструкції.

Поточне обслуговування та ремонт залізничних колій є необхідною умовою для ефективної роботи залізничного транспорту та створення умов для безперебійного та безпечного руху потягів. Такі роботи проводяться протягом усього року і на всій мережі залізниць. Необхідно усувати несправності своєчасно, поки вони ще не становлять загрози для безпечного руху потягів і не вимагають надмірних зусиль для їх ліквідації. Для доставки бригад в графіку руху потягів виділяється спеціальний час, тому значна частина годин, виділених для ремонтних робіт, йде на транспортування бригад.

Крім залізничних автомотрис використовують також локомобілі, що здатні рухатися як по залізниці, так і по автомобільних дорогах. Їхня головна перевага перед автомотрисами полягає в можливості відправки бригади не тільки зі станції, але й з будь-якого залізничного переїзду, що дозволяє значно скоротити час на транспортування бригад. Автомобілі на комбінованому ходу виготовляються шляхом встановлення на раму автомобіля механізмів для руху залізницею.

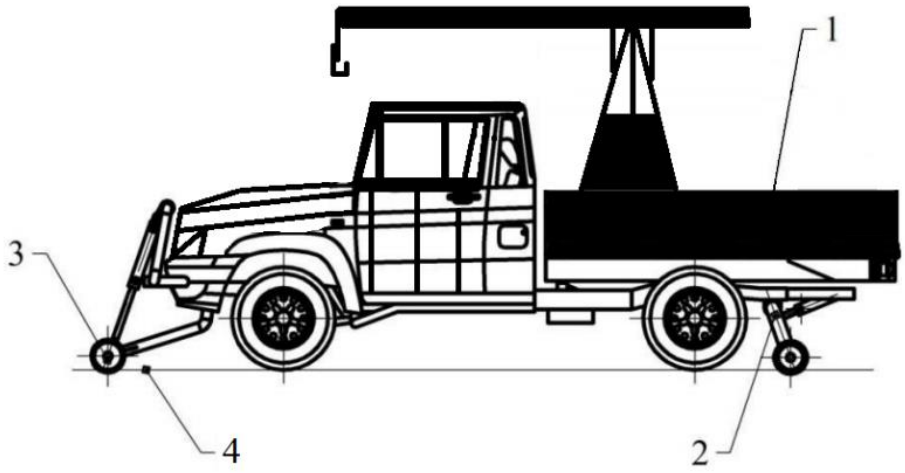
Модернізація локомобілів досягається за рахунок установлення візків для руху по рейках, гідравлічного обладнання для їх підіймання та опускання та гальмового пневмообладнання. Рух локомобілів, як правило, здійснюється за рахунок тертя автомобільних коліс об рейки. [1]

Є три поширених способи змусити автомобіль рухатися по рейках:

1) Заміна звичайних коліс автомобіля на металеві залізничні. Це займає багато часу, є трудомістким процесом і вимагає багато корисного простору для додаткового обладнання.

2) На автомобіль або спецтехніку встановлюють направляючі катки - металеві колеса на спеціальній підвісці, призначені для утримання автомобіля на рейках. Ведучими та гальмівними

залишаються звичайні колеса з шинами автомобіля. Це найбільш поширений метод (рис. 1-2). На автомобільному ходу автомобіль 1 під'їжджає до залізниці і, наприклад, на переїзді, розташовується безпосередньо на головках рейок. Далі залізничні шасі 2 і 3 опускаються та опираються на поверхню катання рейок 4. При досягненні нижньої точки виходу підвісу привід висування шасі відключається, і автомобіль може рухатися на автомобільному ході рейками. Найбільшого поширення отримав гідравлічний привід висування залізничного шасі, оскільки при рівних умовах він дешевший за електропривод і здатний розвивати великі зусилля при відносно невеликих розмірах. Проте він не позбавлений певних недоліків: вимагає дооснащення локомобіля гідростанцією та супутнім обладнанням, а також додаткового обслуговування під час експлуатації.



1 – автомобіль; 2, 3 – заднє та переднє залізничне шасі; 4 – поверхня катання рейок

Рисунок 1 – Автомобіль з направляючими катками

3) На одну з осей зі стандартними колесами встановлюються металеві катки меншого діаметра. Зазвичай цей метод застосовується для малошвидкісних машин (рис.3).



Рисунок 2 - Автомобіль на комбінованому ході UCA-TRAC B16



Рисунок 3 - Автомобіль на комбінованому ході Mercedes-Benz Unimog U423

Ремонтні та обслуговуючі роботи на залізниці мають проводитись так, щоб мінімізувати порушення графіку руху поїздів. Якщо локомобіль, що знаходиться на залізничній колії, виходить із ладу, виникає надзвичайна ситуація, для вирішення якої потрібен буксирувальний транспорт і значні витрати часу, що призводять до великих економічних збитків. Крім того, такий автомобіль має специфічну конструкцію для роботи на залізничних коліях, тому буксирувальний

транспорт повинен бути оснащений спеціальним зчепленням для цього виду техніки. Зважаючи на це, важливим завданням є впровадження обов'язкового надійного резервного приводу локомобіля. Це завдання можна вирішити, наприклад, завдяки наявності залізничного шасі, на якому можна встановити додаткові рухові механізми. Для цього найкраще підходять гідромотори, оскільки автомобіль на комбінованому ходу оснащений гідростанцією, що може працювати від акумулятора, що забезпечує постійний струм. Проте варто досліджувати і інші варіанти резервного приводу для руху локомобіля під час аварійної зупинки на залізничному перегоні.

Локомобілі пасажирського напрямку можуть використовуватися як для перевезення ремонтних бригад так і для перевезення пасажирів, у тому числі у разі виникнення аварійних ситуацій на залізниці. Дворежимний автомобіль DMV (скорочення від Dual-mode vehicles) японської компанії Asa Seaside Railways (рис.4) довжиною близько восьми метрів здатний перевозити 23 людини та може трансформуватися з автобуса в поїзд-локомотив всього за 15 секунд.



Рисунок 4 - Автобус DMV японської компанії Asa Seaside Railways

При цьому, автобус важить всього 5850 кілограмів, що значно легше звичайного вагона поїзда. По рейках він може рухатися зі швидкістю до 60 км/год, але по дорозі їде швидше – в залежності від встановлених ПДР обмежень швидкості [2-4]. Транспортні засоби такого типу можуть впроваджуватися і на місцевих трамвайних маршрутах.

Одним із напрямів підвищення ефективності таких транспортних засобів є використання гібридних та електричних силових установок, які дозволяють зменшити споживання палива, рівень шуму та викиди шкідливих речовин. У випадку локомобілів гібридна система забезпечує можливість використання двигуна внутрішнього згоряння для пересування дорогами та електроприводу – під час руху по залізниці. Це створює передумови для підвищення енергетичної ефективності, а також для інтеграції таких машин у майбутню екологічно сталу транспортну інфраструктуру.

Окрему увагу дослідники приділяють питанням безпеки руху автомобілів на комбінованому ходу. Через специфіку експлуатації вони повинні відповідати як автомобільним, так і залізничним стандартам безпеки. Системи автоматичного гальмування, стабілізації курсу, інтелектуального контролю тиску в шинах і стану рейкового шасі підвищують надійність роботи та мінімізують ризики сходу з рейок. Впровадження систем моніторингу технічного стану за допомогою сенсорів і телеметрії дозволяє здійснювати діагностику в режимі реального часу, попереджаючи аварійні ситуації.

Важливою тенденцією є також розвиток модульних конструкцій комбінованих транспортних засобів. Такі машини можуть бути обладнані змінними платформами або надбудовами – вантажними, пасажирськими, ремонтними, евакуаційними тощо. Це дає змогу швидко змінювати функціональне призначення транспортного засобу без необхідності створення окремої спеціалізованої техніки для кожного виду робіт. Подібні рішення уже впроваджуються у країнах Європи та Японії [2], де універсальність і швидкість реагування технічних служб мають вирішальне значення.

Автомобілі на комбінованому ході становлять перспективний напрям розвитку транспортних технологій, що поєднує мобільність автомобільного транспорту з ефективністю залізничного. Вони сприяють зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню безпеки та оперативності робіт на залізничній інфраструктурі. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення енергетичних систем, підвищення автономності, розробку резервних приводів і впровадження інтелектуальних систем керування. Розвиток таких машин особливо актуальний для України, оскільки дозволяє забезпечити стабільність логістики, швидке реагування на аварійні ситуації та сталий розвиток транспортної мережі країни

Список використаних джерел

1. Мямлін С., Козаченко Д., Гревцов С. Підвищення конкурентоспроможності залізниць за рахунок використання бімодальних технологій перевезень. *Українські залізниці*, 2014. № 12. С. 20-23.
2. Винаходячи колесо: в Японії представили автобус, який за 15 секунд перетворюється на поїзд. URL: https://www.rbc.ua/ukr/auto/izobretaya-koleso-udivitelnyy-ponskiy-avtobus-1640267026.html (дата звернення: 11.10.2025).
3. Yelistratov, V., Pavlenko, O., Kharkov, O., Chernenko, S., Chernysh, A., & Puzyr, R. (2022, October). Peculiarities of the of Engineering Disciplines Teaching Process Organization Using Three-Dimensional Computer Modeling Methods. In 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES) (pp. 1-5). IEEE.
4. Солтус, А. П., Черненко, С. М., Клімов, Е. С., Черниш, А. А., & Маслов, О. Г. (2018). Особливості роботи еластичного колеса як складного механізму. Вісник ЖДТУ. Серія" Технічні науки", (2 (82)), 152-159.

Черненко Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, e-mail: sercher174@gmail.com.

Мурашко Олексій Андрійович – асистент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, e-mail: alandr793@gmail.com.

Chernenko Serhii M. – Associate Professor, Associate Professor, Department of Automobiles and Tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: sercher174@gmail.com.

Murashko Oleksii A. – Assistant, Department of Automobiles and Tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: alandr793@gmail.com.

УДК 621.74

О.Г. Чернета, М.В. Скороход, Р.О. Буланий, Д.М. Бондюк

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ ДВЗ ІЗ СТАЛІ 50ХФА

Досліджено процеси тертя в залежності від стану поверхневих шарів поршневих кілець на сталі 50ХФА - гільза циліндрів ДВЗ, їх структурними параметрами, коливання міцності в поверхневих шарах захисних покриттів.

Ключові слова: *поршневе кільце, гільза циліндру, трибо система, циліндро-поршнева група,знос,поверхневий шар.*

The friction processes were investigated depending on the state of the surface layers of piston rings on 50ХФА steel - the cylinder liner of ICE, their structural parameters, and strength fluctuations in the surface layers of protective coatings.

Key words: *piston ring, cylinder liner, tribo system, cylinder-piston group, wear, surface layer.*

У двигунах внутрішнього згоряння знос деталей циліндро-поршневої групи пов'язаний із взаємодією трибосистеми "поршневе кільце - гільза циліндра". Функціонування такої системи істотно залежить від властивостей поверхонь тертя, відображає їх взаємодію і залежить від багатьох факторів: фізичних, механічних, геометричних, кінематичних властивостей. Особливості процесів тертя і процесів зношування значною мірою визначаються властивостями поверхневих шарів, їх структурно-міцними зв'язками з основним металом. У процесі експлуатації поверхні деталей зазнають істотних змін мікрогеометрії та макроструктури.

В результаті припрацювання зменшується шорсткість поверхонь деталей. Нерівності, що утворилися при обробці, замінюються нерівностями, викликаними процесами зношування внаслідок інтенсивних термічних і механічних впливів. Деталі циліндро-поршневої групи (ЦПГ) одночасно зазнають молекулярно-механічного та абразивного зношування [1]. Процес молекулярно-механічного зношування найбільш вірогідний у верхній частині циліндра, де внаслідок недостатньої кількості мастила, низької швидкості поршня, високих температур і тиску порушується цілісність мастильної плівки і виникають локальні ділянки тертя. поверхні схоплюються в певних точках. На другій частині циліндра пари тертя взаємодіють в середовищі гідродинамічної мастила. Інтенсивність молекулярно-механічного зношування залежить від швидкості руху пар тертя, контактного тиску і температури спалаху горючої суміші. При їх несприятливому поєднанні інтенсивність коагуляції різко зростає, можливе висипання з поверхні мікрочастинок. Процес корозійно-механічного зношування та електрохімічної корозії спостерігається при роботі пар тертя в корозійно-агресивних середовищах, газоподібних і рідких продуктах згоряння палива, окисленні масел, води, слабких кислот і розчинів, які конденсуються на стінках циліндрів. При зниженні теплового режиму двигуна зростає інтенсивність корозійно-механічного зношування. Циліндро-поршнева група з поршневими кільцями двигуна внутрішнього згоряння показана на рис.1





Рис. 1 . Циліндро-поршнева група з поршневими кільцями двигуна внутрішнього згоряння

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основний відсоток пошкоджень деталей (30%) пов'язаний з процесами тертя в контактуючих парах механізмів. Тому особлива увага приділяється стану поверхневого шару пар тертя та технологіям зміцнення. Від сукупності властивостей, що формуються при застосуванні різних технологій зміцнення, залежить зносостійкість поверхневого шару, довговічність, надійність і термін служби деталей автомобілів. Механізми формування зносостійких структур наведені в багатьох наукових джерелах [1-4]. В експериментальних роботах розроблені режими обробки та обґрунтовані кінцеві результати найбільш поширених технологій зміцнення, а при виконанні окремих операцій гарантовано отримують зносостійкі мікроструктури із заданими показниками мікротвердості та зносостійкості на заданих матеріалах[5-6].

Швидкість зношування досліджуваних зразків, отриманих у результаті трибологічних випробувань, можна визначити із співвідношення:

$$I_h = \frac{\Delta m}{\rho \cdot S \cdot Q},$$

де Δm– втрата маси матеріалу, кг; ρ- щільність матеріалу, кг/м^3; S - геометрична площа контакту, м^2.Q- шлях тертя, м;

Отримати точну математичну залежність для визначення ступеню зносу від впливу експлуатаційних параметрів можна методом експериментального проектування, зокрема ортогонального центрального композиційного плану другого порядку. У більшості фізичних експериментів загальний характер розподілу випадкових величин можна представити на основі попередніх вимірювань. Надійність оцінки середнього генеральної сукупності можна описати за допомогою квантилів нормалізаційного нормального розподілу. Експеримент досліджує втрату маси поршневого кільця при зношуванні (X). На процес зношування впливають мікротвердість матеріалу покриття поршневого кільця (X1), контактний тиск P(X2), швидкість зразка V(X3) і час процесу зношування (X4).

Експериментальні дослідження проводили на лабораторній трибологічній машині з погодинним записом втрати маси зразків. Рівні варіації факторів, які безпосередньо впливають на ступінь зношеності зразків, наведені в математичних залежностях.

Матриця планування та результати повнофакторного експерименту з урахуванням параметрів = 3600..9300 МПа, P = 30.. 50 Н, V = 2,4..3 м/с, = 1..3 години наведена далі.

У результаті обробки експериментальних даних отримано оцінки впливу факторів, їх квадратів та взаємодії між собою на величину.

В результаті перевірки результатів експерименту знайдено дисперсію похибок спостереження S=1 для ступеня свободи f=2. Значимість коефіцієнтів регресії перевіряли за допомогою критерію Ст'юдента для рівня q=0,05 і ступеня свободи f=2 показали значущість факторів, а також їх взаємодію в $\overline{x_1}, \overline{x_2}, \overline{x_3}, \overline{x_4}\ \overline{x_1}\,\overline{x_2}, \overline{x_1}\,\overline{x_3}, \overline{x_1}\,\overline{x_4}, \overline{x_2}\,\overline{x_3}, \overline{x_2}\,\overline{x_4}, \overline{x_3}\,\overline{x_4}$.

Результатом є функція

$$y = -3.752 - 0.777\overline{x_1} + 0.196\overline{x_2} + 0.054\overline{x_3} + 0.585\overline{x_4} - 0.0025\overline{x_1}\,\overline{x_2} - 0.019\overline{x_1}\,\overline{x_3}$$
$$-0.03\overline{x_1}\,\overline{x_4} + 0.02\overline{x_2}\,\overline{x_3} + 0.038\overline{x_2}\,\overline{x_4} - 0.032\overline{x_3}\,\overline{x_4}.$$

В той же час

$$\overline{x_1} = \frac{2\left(\ln H_{\mu 50} - 9.138\right)}{9.138 - 8.102} + 1;\quad \overline{x_2} = \frac{2\left(\ln P - 3.912\right)}{3.912 - 3.4} + 1;$$
$$\overline{x_3} = \frac{2\left(\ln V - 1.099\right)}{1.099 - 0.875} + 1;\quad \overline{x_4} = \frac{2\left(\ln \tau - 1.099\right)}{1.099} + 1.$$

Перевірка адекватності спостережуваних значень показала, що розрахункове значення критерію Фішера становить Fp = 15,27, а табличне значення Ft = 19,42. Таким чином, отримана математична модель є адекватною реальній і досліджуваній моделі. Для зручності розрахунків кодовані змінні замінені відповідними фізичними величинами.

Отримана формула враховує вплив багатофакторної системи трибологічної взаємодії контактуючих поверхонь і дозволяє шляхом розрахунку за заданими параметрами з високою

достовірністю прогнозувати. ступінь зносостійкості покриттів з різними видами термічного зміцнення

$$\Delta m = 5.1 - 1.151\ln H_{\mu 50} + 1.584\ln\tau + 1.313\ln V + 0.111\ln P - 0.357\ln H_{\mu 50}\ln V$$
$$-0.115\ln H_{\mu 50}\ln\tau + 0.696\ln P\ln V + 0.271\ln P\ln\tau - 0.518\ln\tau\ln V - 0.02\ln H_{\mu 50}\ln P\,.$$

Висновки. Розроблена методика трибологічних випробувань зі зміною кута контакту контактуючих поверхонь дозволяє не тільки визначити зношування поверхонь контактуючих пар, що труться, але й дослідити динаміку процесу стирання по глибині зразка.

Список використаних джерел

1. Pavlyshche V. Basics of design and calculation of machine parts: Textbook. Lviv: Afisha, 2003. — 560 p.
2. Korets M. S. Fundamentals of mechanical engineering: teaching. manual / M. S. Korets, A. M. Tarara, I. G. Tregub. — K., 2001. — 144 p.
3. Popov S. V., Buchynskyi M. Ya., Hnytko S. M., Chernyavskyi A. M. Theory of mechanisms of technological machines: a textbook for students of mechanical specialties of higher education institutions. Kharkiv: NTMT, 2019. 268 p.
4. Cherneta O. G. Strengthening of automobile transport parts by combined laser processing: monograph / O. G. Cherneta. – Kamianske: DDTU, 2024. – 147 p.
5. Dmitrichenko M.F. Tribotechnics and the basis of machine reliability: basic guide. M.F. Dmitrichenko, R.G. Mnatsakanov, O.O. Mikosyanchik. K.: INFORMAVTODOR, 2006. – 216 P.
6. Kravets I.A. Reparative regeneration of tribo systems. – Ternopil. BAI,2003. P–284.

Чернета Олег Георгійович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам’янське, e-mail: OCherneta@gmail.com

Скороход Максим Вікторович – аспірант кафедри автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам’янське, e-mail: maxsymckrhd@gmail.com

Буланий Руслан Олегович **–** бакалавр кафедри автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам’янське, e-mail: Rysawawa@gmail.com

Бондюк Деніс Миколайович – аспірант кафедри автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам’янське, e-mail: dbondyuk@gmai.com

Cherneta Oleg G. **–**PhD (Eng.) – Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems, Dnipro State Technical University, Kamianske,e-mail: OCherneta@gmail.com

Skorohod Maxim V. – PhD student of the Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems, Dnipro State Technical University, Kamianske, e-mail: maxsymckrhd@gmail.com

Bylany Ruslan O.**–** bachelor of the Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems, Dnipro State Technical University, Kamianske, e-mail: Rysawawa@gmail.com

Bondyuk Denis M. **–** PhD student of the Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems, Dnipro State Technical University, Kamianske, e-mail: dbondyuk@gmai.com.

УДК 656.1/5

С.П. Чуйко, О.П. Кравченко, Я.Р. Безверхий

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ПРАЦЕЗДАТНІСТЮ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Сучасні інформаційні технології автомобільного транспорту сприяють вдосконаленню підтримки працездатності автомобілів у напрямку стратегії виконання технічних впливів за фактичним технічним станом рухомого складу. Розглянуто удосконалення управління працездатністю за частковим критерієм - відносною перевитратою палива за мінімально можливої дискретності його визначення (робочий день, доба, сезон).

Ключові слова: *автомобільний транспорт, енергоефективність, витрата палива, моніторинг технічного стану, екологічна безпека.*

Modern information technologies of road transport contribute to the improvement of vehicle performance support in the direction of the strategy of implementing technical influences based on the actual technical condition of the rolling stock. The improvement of performance management based on a partial criterion - relative fuel overconsumption with the minimum possible discreteness of its definition is considered. (working day, time of day, season).

Keywords*: automobile transport, energy efficiency, fuel consumption, technical condition monitoring, environmental safety*

Важливими проблемами у використанні автомобільного транспорту лишаються питання витрати палива та забруднення навколишнього середовища. Вирішення цих проблем у багатьох випадках залежить від забезпечення технічного стану автотранспортних засобів. Ці питання гостро стоять як перед виробниками автотранспортних засобів так і перед експлуатаційниками, які використовують ці транспортні засоби [1].

Витрати палива автотранспортними засобами залишається основною складовою у собівартості перевезень. В даний час нормування витрати паливно-мастильних матеріалів автомобілями здійснюється згідно за методичними рекомендаціями Державного підприємства «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (ДП «ДержавтотрансНДІпроект»), редакція 1 від 17.11.2023 р. «Методичні рекомендації з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою», яка носить рекомендаційний характер для підприємств, організацій, установ, юридичних та фізичних осіб у плануванні, обліку, контролі за витратами [2].

Одне з основних джерел забруднення атмосфери – автомобільний транспорт. Кількість транспортних засобів в усьому світі стрімко зростає і через це зростає їх вплив на навколишнє середовище і споживання ними ресурсів і енергії, незважаючи на те, що з кожним роком нові транспортні засоби стають екологічно безпечніші і енергетично ефективніші. І хоча частка дорожнього транспорту в транспортному секторі в кожній країні різна, домінуюче навантаження на природу за рахунок емісій і споживання палива несе саме автомобільний транспорт.

У викидах автомобілів знаходяться такі шкідливі речовини, як чадний газ, окиси азоту, тверді частинки та летючі органічні з’єднання. 90% викидів чадного газу, які потрапляють в атмосферу, спричинені автомобільним транспортом [3]. Відомо, що скорочення споживання моторних палив сприяє зменшенню екологічного забруднення.

Методика розрахунку та нормування витрати палива повинна мати цілісний характер, що найбільш повно враховує специфіку роботи різних видів автомобільного транспорту і має підтвердження з наукової та практичної точки зору [4]. Аналітичні методи дають можливість визначення витрати палива в умовах обмеженості часу, фінансування експериментів, вихідних даних про маршрут і т.д., тому вони краще прогнозуються в умовах роботи сучасних автотранспортних підприємств).

На рівні окремих автотранспортних підприємств якість та своєчасність робіт з технічного обслуговування і ремонту рухомого складу напряму залежить від відновлення працездатності, що впливає на зниження споживання палива та ресурсів, забруднення навколишнього середовища викидами та відходами [5].

В умовах сучасних інформаційних технологій зростає попит на передові технології діагностики несправностей, щоб зменшити незаплановані простої транспортних засобів, які спричинені непередбаченими поломками. Такий підхід вбачає підвищення безпеки і надійності рухомого складу в період експлуатації.

Для інтелектуальної транспортної системи, яка використовується на сьогодні, характерними є такі види елементів, які можна розділити на дві частини (рис.1):

- в автомобілі – компоненти, які розміщені в автомобілі і функціонують лише тоді, коли автомобіль з працюючим двигуном. Вони зчитують та обробляють всю інформацію, фактично це весь прототип, який пропонується до розробки.

- зовні автомобіля – компоненти, які використовуються для передачі всіх оброблених та виявлених технічних проблем в автомобілі після запуску двигуна або під час руху.



Рисунок 1 – Запропонована система пристрою дистанційної діагностики автомобіля

Діагностичний модуль OBD-II CAN-BUS є набором для розробки Arduino, Raspberry, Beaglebone та інших міні-комп'ютерів, за допомогою якого можливо підключити комп'ютер до інтерфейсу OBD-II автомобіля і проводити діагностику. OBD надає доступ до даних про стан окремих систем автомобіля та значення помилок [6].

Алгоритм цієї моделі побудовано наступним чином. Двигун запускається та живить мікрокомп'ютер та модуль OBD-II. Початковий запуск займає кілька хвилин, оскільки потрібно завантажити програмне забезпечення, яке оброблятиме дані та перенаправлятиме їх на віддалений пристрій. Одночасно відбувається Bluetooth-з'єднання між Raspberry PI та OBD-II. Після цього на мікрокомп'ютері починають працювати скрипти, які надсилатимуть запит на отримання даних та їх обробку. Ця процедура повторюється, доки не буде виявлено помилку.

Проблеми можна розділити на три категорії: термінове рішення, незначна помилка, попередження. Залежно від типу проблеми, повідомлення надходитимуть з різними позначеннями, щоб було легше зрозуміти масштаб проблеми. Коли проблема виявлена, мікрокомп'ютер надсилає повідомлення на станцію технічного обслуговування при фірмовому обслуговуванні. Для цього модуль SIM7600G-H підключається до Raspberry, який передає дані, підключаючись до найближчої антени провайдера. Дані вказують на проблему та, за допомогою GPS-антени, на місцезнаходження автомобіля.

Вирішуючи ці проблеми, можна знизити витрати на технічне обслуговування, покращити продуктивність та забезпечити довговічність автомобіля, підвищити надійність автомобіля та зменшити вплив на навколишнє середовище шляхом оптимізації графіка профілактичного технічного обслуговування. Безперервний моніторинг параметрів технічного стану транспортного засобу в сучасних умовах при його експлуатації забезпечують різноманітні електронні системи управління і контролю робочих процесів агрегатів і вузлів. Вони виконують функцію самодіагностики і діагностики, яка управляє процесами і інформує водія, службу

технічного контролю автопідприємства про відхилення значень контрольованих величин параметрів керованих процесів, які виникли на транспортному засобі.

Моніторинг технічного стану та робочих режимів і процесів автомобіля дає можливість контролювати зміну параметрів вузлів, агрегатів і систем автомобіля, а також дистанційно отримувати необхідну інформацію про параметри для керування роботою систем автомобіля. Важливою складовою моніторингу технічного стану є екологічний контроль, вплив режимів роботи двигуна на ресурс моторної оливи та витрати пального.

Дослідження показали, що вдосконалення існуючих систем підтримки працездатності автомобілів можливе у напрямку стратегії виконання технічних впливів за фактичним технічним станом рухомого складу із застосуванням засобів інструментального і статистичного діагностування з більш повною реалізацією можливостей нових інформаційних технологій. Доведено можливість управління працездатністю за частковим оперативним критерієм — відносною перевитратою палива за мінімально можливої дискретності його визначення (зміна роботи, доба, сезон користування кондиціонером).

Список використаних джерел

1. Говорущенко М.Я., Варфоломеєв В.М. Нова система профілактичного обслуговування та ремонту транспортних машин // Автомобільний транспорт: прогрес, технології, кадри: Матеріали III – ї міжнар. наук.-техніч. конф. Севастопіль, 16 – 20 вересня 1999. – Севастопіль: Вид-во СевДТУ, 1999. С. 3 – 6

2. Базові норми витрат доповнення до Методичних рекомендацій з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою : нормат. док. затв. Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. 3-тя ред., переробл. і доп. Київ : ДержавтотрансНДІпроект, редакція 1 від 17.11.2023. 150 с.

3. Актуальні питання забруднення атмосферного повітря. Державна екологічна інспекція України. [Режим звернення: https://www.dei.gov.ua/post/1563]

4. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року, затверджена Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. №430-р. м. Київ. [Режим звернення: https://surl.li/tlfkjw]

5. Ефективне управління працездатністю колісних транспортних засобів : навчальний посібник [Електронний ресурс] / Кравченко О. П., Герліці Ю., Макаров В. А., Макарова Т. В. – Вінниця : ВНТУ, 2025. 115 с.

6. Комплект для розробки OBD-II CAN-BUS Seeed Studio Arduino [Режим доступу: https://surl.lt/oxuhpx]

Чуйко Сергій Петрович – док. філос., доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: expertauto@ukr.net

Кравченко Олександр Петрович **-** доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: ap_kravchenko @vntu.ua

Безверхий Ярослав Романович -магістр кафедри автомобілів і транспортних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: etorzt@i.ua

Chuyko Serhiy Petrovych - PhD, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, e-mail: expertauto@ukr.net

Kravchenko Oleksandr - doctor of technical sciences, professor, professor of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ap_kravchenko@vntu.edu.ua

Bezverkhyi Yaroslav Romanovych - Master of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, e-mail: etorzt@i.ua

УДК 629.331.019.3:620.178.16:004.942

В.М. Чумак, В.Г. Байцан, Є.В. Манько, В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РЕСУРСОВИЗНАЧАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ МЕТОДОМ АДАПТИВНОГО ПРЕДИКТИВНОГО ІНЖИНІРИНГУ

Показано, що в епоху четвертої промислової революції та всеохоплюючої діджиталізації виробничих комплексів критично важливим стає завдання гарантування експлуатаційної стійкості та подовження терміну служби критичних компонентів автомобільного та агропромислового обладнання. Встановлено, що класичні методики оцінювання працездатності техніки, які базуються на регламентованих термінах сервісу, не задовольняють актуальні потреби рентабельності виробництва та експлуатаційної безпеки. Ідентифіковано ключову проблематику – брак уніфікованої системи структурування параметрів деталей: існуючі методи (FMEA, CAD/PLM-системи, спеціалізовані трибологічні БД) характеризуються високою специфічністю та не дозволяють масштабування прогностичних моделей на довільні типи компонентів без значних експериментальних витрат.

Запропонована методологія універсальної формалізації параметрів ресурсовизначальних деталей у вигляді Універсального опису деталі (УОД), що поєднує матеріалознавчі, геометричні, експлуатаційні та надійнісні параметри в єдину структуровану форму. УОД інтегрує явну специфікацію умов експлуатації (навантаження, температура, забруднення, для с/г техніки — параметри ґрунту), матеріального стану (марка, термообробка, твердість) та методів вимірювання зносу. Розроблено експертну систему, що автоматично класифікує домінуючий механізм зношування за параметрами УОД та вибирає відповідну калібровану фізичну модель (Арчард для абразивного, Пальмгрен-Майнер для втомного, кастомізовану для ґрунтового зношування).

Проведене порівняльне дослідження УОД з альтернативними підходами (FMEA, CAD/PLM, трибологічні БД, IoT) на дванадцяти категоріях деталей автомобільної та сільськогосподарської техніки продемонструвало: УОД значно скорочує час розробки прогностичної моделі, підвищує точність прогнозу залишкового ресурсу (MAPE УОД = 3,2% vs FMEA = 16,8% для стабільних умов експлуатації), забезпечує універсальність застосування без модифікації структури та масштабованість адаптації до нових типів деталей.

Валідація на реальних експлуатаційних даних 20-30 одиниць техніки для кожного типу деталі протягом 1000-5000 годин підтвердила надійність методу: середня абсолютна процентна похибка (MAPE) = 3,2...4,4% для автомобільних деталей та 4,4...5,2% для с/г деталей з варіаціями умов експлуатації при використанні каліброваних моделей у типових умовах. Результати підтверджують можливість інтеграції УОД у системи предиктивного обслуговування та CAD/PLM-платформи для забезпечення масштабованих рішень на великих парках техніки.

Ключові слова: *універсальний опис деталі, предиктивне обслуговування, формалізація параметрів, порівняльний аналіз методик, механізми зношування, прогнозування залишкового ресурсу, фізичні моделі зносу, експертна система, калібровані моделі.*

It is shown that in the era of the fourth industrial revolution and comprehensive digitalization of production complexes, the task of ensuring operational stability and extending the service life of critical components of automotive and agro-industrial equipment is becoming critically important. It is established that classical methods of assessing the performance of equipment, which are based on regulated service terms, do not satisfy the current needs of production profitability and operational safety. The key issue is identified - the lack of a unified system for structuring parts parameters: existing methods (FMEA, CAD/PLM systems, specialized tribological databases) are characterized by high specificity and do not allow scaling predictive models to arbitrary types of components without significant experimental costs.

A methodology for universal formalization of resource-determining parts parameters in the form of a Universal Description of Parts (UDP) is proposed, which combines material science, geometric,

operational and reliability parameters into a single structured form. UOD integrates an explicit specification of operating conditions (load, temperature, pollution, for agricultural machinery - soil parameters), material state (grade, heat treatment, hardness) and wear measurement methods. An expert system has been developed that automatically classifies the dominant wear mechanism by UOD parameters and selects the appropriate calibrated physical model (Archard for abrasive, Palmgren-Miner for fatigue, customized for soil wear).

A comparative study of UOD with alternative approaches (FMEA, CAD/PLM, tribological DB, IoT) on twelve categories of automotive and agricultural machinery parts demonstrated: UOD significantly reduces the time for developing a predictive model, increases the accuracy of the residual resource forecast (MAPE UOD = 3.2% vs FMEA = 16.8% for stable operating conditions), ensures universal application without modifying the structure and scalability of adaptation to new types of parts.

Validation on real operational data of 20-30 units of equipment for each type of part for 1000-5000 hours confirmed the reliability of the method: mean absolute percentage error (MAPE) = 3.2...4.4% for automotive parts and 4.4...5.2% for agricultural parts with variations in operating conditions when using calibrated models in typical conditions. The results confirm the possibility of integrating UOD into predictive maintenance systems and CAD/PLM platforms to provide scalable solutions for large fleets of equipment.

Keywords: *universal description of the part, predictive maintenance, parameter formalization, comparative analysis of methods, wear mechanisms, residual resource prediction, physical wear models, expert system, calibrated models.*

Сучасний стан розвитку автомобільної та сільськогосподарської техніки характеризується зростанням вимог до її довговічності, надійності та експлуатаційної ефективності. В умовах інтенсифікації виробничих процесів особливої актуальності набуває проблема прогнозування залишкового ресурсу ресурсовизначальних деталей, оскільки саме цей показник визначає рівень безпеки експлуатації та економічну ефективність технічного обслуговування.

Традиційні підходи до сервісного обслуговування, що базуються на календарно-регламентних інтервалах, не враховують індивідуальних умов роботи техніки та її фактичного технічного стану. Це призводить як до надлишкових витрат через передчасні ремонти, так і до раптових відмов, що супроводжуються простоєм і додатковими збитками.

Головним недоліком більшості існуючих систем предиктивного обслуговування (PdM) є вузька спеціалізація моделей. Так, нейронні архітектури типу LSTM, ефективні для моніторингу підшипників, потребують суттєвого доопрацювання при застосуванні до інших типів деталей, що вимагає значних витрат часу і ресурсів. Створення нової прогностичної моделі, як правило, супроводжується тривалими експериментальними дослідженнями, оскільки відсутня універсальна методологія формалізації параметрів різнорідних деталей. Це обмежує можливість масштабного впровадження систем прогнозування зносу та інтеграції PdM у єдину інформаційно-аналітичну платформу для великих автопарків.

Практичний досвід упровадження предиктивних систем показує, що підприємства вимушені розробляти окремі моделі для кожного класу деталей, використовуючи різні методики опису та калібрування. Унаслідок цього виникає фрагментація даних, неможливість передачі знань між моделями та зниження ефективності аналітичних систем.

Сучасні дослідження демонструють активний розвиток двох напрямів у PdM:

1. Фізико-математичне моделювання процесів зношування.

2. Використання методів штучного інтелекту для аналізу експлуатаційних даних.

Фізичні моделі, зокрема модель Арчарда для абразивного зношування і моделі контактної втоми Пальмгрена–Майнера для підшипників і зубчастих передач, забезпечують розуміння закономірностей деградації матеріалів. Однак їхня адаптація до реальних умов експлуатації ускладнена потребою у великому обсязі експериментальних даних та відсутністю врахування динамічної мінливості параметрів навантаження.

Методи машинного навчання (зокрема LSTM, CNN) показують високу точність прогнозування залишкового ресурсу завдяки здатності до виявлення нелінійних закономірностей у даних сенсорного моніторингу. Водночас систематичні огляди засвідчують, що для ефективного навчання моделей потрібні значні масиви якісних даних, а трансфер між різними типами деталей без повторного навчання є малоефективним [10].

Серед існуючих систем формалізації параметрів:

– CAD/PLM-системи детально описують геометрію деталей та керують їх життєвим циклом, але не враховують динамічні експлуатаційні характеристики;

– FMEA-методологія дозволяє якісно аналізувати режими відмов, проте не забезпечує кількісного прогнозування ресурсу;

– трибологічні бази даних містять довідкові значення коефіцієнтів тертя й зношування, але відсутність уніфікованої структури обмежує їх використання для аналітики;

– IoT-системи моніторингу фіксують вібраційні, температурні та інші сигнали, але не інтегрують матеріальні та конструктивні параметри деталей, критично важливі для фізичного моделювання.

Таким чином, наявна науково-практична відсутність уніфікованої методології опису деталей, яка б поєднувала матеріалознавчі, геометричні, експлуатаційні та надійнісні характеристики в єдину структуровану форму, придатну для:

- автоматизованої обробки даних без експертного втручання;
- масштабування на різні типи деталей без зміни структури моделі;
- калібрування фізичних моделей зношування на основі паспортних даних без нових експериментів;
- ефективного перенесення прогнозних моделей між різними категоріями деталей.

Універсальний опис деталі пропонується як формалізована структура даних, що містить систематизований набір параметрів для ідентифікації, оцінки напруженого стану, прогнозування ресурсу та планування технічного обслуговування в межах єдиної адаптивної інформаційної системи.

Розроблення універсального опису деталі (УОД) базується на п’яти ключових принципах, що визначають його функціональну гнучкість і придатність для автоматизованого прогнозування технічного стану:

1. Повнота – охоплення всіх параметрів, які впливають на механізми зношування та процес прогнозування ресурсу;
2. Універсальність – можливість використання для деталей будь-якого типу без зміни структури моделі;
3. Структурованість – ієрархічна організація даних, що забезпечує автоматизовану обробку;
4. Автоматизованість – заповнення параметрів на основі технічної документації або відкритих джерел без проведення додаткових експериментів;
5. Розширюваність – можливість додавання нових характеристик для адаптації під регіональні та галузеві умови.

Модель УОД складається з шести взаємопов’язаних блоків:

Блок 1. Ідентифікація: містить найменування, артикул, належність до системи (двигун, трансмісія, гідравліка, сільськогосподарська машина) та функціональне призначення.

Блок 2. Матеріали: описує марку матеріалу відповідно до ДСТУ/ISO, стан термообробки (відливка, нормалізація, гартування, цементація) з параметрами температури, твердість (HV, HB, HRC), модуль пружності E, межу міцності σ_b та джерело інформації.

Блок 3. Геометрія: охоплює тип контакту (ковзання, кочення, Герцівський контакт), площу контакту A, шорсткість Ra, радіуси кривизни r_1, r_2, та інші критичні геометричні показники (діаметр, товщина тощо).

Блок 4. Експлуатаційні умови: включає навантаження F, швидкість v, температуру T, тип і в’язкість змащення ν, рівень забруднення C_p, а також специфічні параметри для сільськогосподарської техніки (тип ґрунту, піщаність, вологість, глибина й швидкість обробітку).

Блок 5. Надійність: містить середній ресурс h_cep, основні режими відмов та періодичність технічного обслуговування.

Блок 6. Метрологія: описує методи вимірювання зносу, їхню точність та критерії відмов (гранично допустимий знос).

Найбільш вагомими для розрахунків визнано блоки “Експлуатаційні умови” (15 параметрів, важливість — 100%) і “Матеріали” (12 параметрів, важливість — 95%), адже саме вони визначають домінуючі механізми зношування.

Загалом УОД охоплює 58 параметрів, що забезпечує повноту даних для автоматизованого прогнозування ресурсу. Кожен блок містить обов'язкові (мінімум 80% заповнення) та додаткові параметри, які підвищують точність моделей.

Експертна система та моделі

В основу експертної системи покладено набір логічних правил, що дозволяють автоматично визначати домінуючий механізм зношування на основі даних з блоків "Матеріали", "Геометрія" та "Експлуатаційні умови".

Точність класифікації механізму становить 92% відносно експертної оцінки. Після ідентифікації система автоматично підбирає відповідну калібровану модель зносу.

Найвищу невизначеність (±40–50%) має абразивно-ґрунтове зношування, оскільки його інтенсивність суттєво залежить від умов ґрунту — піщаності, вологості та швидкості обробітку. Якщо кілька механізмів активуються одночасно з близькими ваговими коефіцієнтами (різниця <0,2), система визначає комбінований режим і застосовує суперпозицію моделей з відповідними вагами.

Для кожного типу зношування розроблено фізичну модель із зазначенням джерел експериментальних даних та діапазонів невизначеності параметрів.

Розроблено й апробовано методологію універсальної формалізації параметрів ресурсовизначальних деталей, що реалізується через структуру УОД. Вона поєднує матеріалознавчі, геометричні, експлуатаційні та надійнісні характеристики в єдиній уніфікованій формі. Доведено, що УОД дає змогу заповнювати параметри без проведення додаткових експериментів – лише за технічною документацією. Передбачено обов'язкове зазначення стану матеріалу (включно з термообробкою), умов експлуатації (зокрема характеристик ґрунту для сільськогосподарської техніки) та метрологічних параметрів. Шестиблокова структура, що охоплює 58 параметрів, забезпечує повноцінний опис для автоматизованого прогнозування залишкового ресурсу.

Створено експертну систему автоматизованої класифікації механізмів зношування, яка на основі параметрів УОД визначає домінуючий тип процесу (абразивне, втомне, корозійне, адгезійне або комбіноване зношування). Досягнуто точності класифікації 92% у порівнянні з експертною оцінкою. Система самостійно обирає відповідну фізичну модель, усуваючи необхідність участі експерта. Правила класифікації побудовані для п'яти типів зношування з ваговими коефіцієнтами 0,5...0,9 та довірчими інтервалами ±25...50%.

Проведено порівняльний аналіз ефективності УОД із традиційними методами (FMEA, CAD/PLM), який показав значні переваги:

Швидкодія: розробка моделі за УОД займає лише 0,11 днів проти 8,7 днів у FMEA та 2,7 днів у CAD/PLM завдяки автоматичному заповненню даних.

Точність прогнозів: середня похибка (MAPE) для УОД становить 3,2%, що у 5,3 раза точніше за FMEA (16,8%) і у 6 разів точніше за CAD/PLM (19,1%) за сталих умов експлуатації.

Масштабованість: адаптація моделі до нових умов експлуатації займає 0,06..0,15 днів, тоді як для FMEA потрібно 4...7 днів, а для CAD/PLM – 2...4 дні.

Автоматизація: 88% усіх операцій можуть виконуватись автоматично, що значно перевищує показники FMEA (15%) і CAD/PLM (26%).

Виконано валідацію на реальних експлуатаційних даних, отриманих з 20...30 одиниць техніки кожного типу деталей (тривалість спостережень – 1000...5000 годин). Отримані результати підтвердили стабільність методу: середня похибка прогнозів становила 3,2...4,4% для автомобільних і 4,4...5,2% для сільськогосподарських деталей. Інтервали невизначеності каліброваних моделей коливаються в межах ±30...50%, що враховується при плануванні техобслуговування через застосування консервативних стратегій прогнозування.

Підтверджено універсальність методу шляхом випробувань на дванадцяти групах деталей (підшипники, зубчасті передачі, поршневі кільця, елементи сільгоспмашин) із різними матеріалами (чавун, сталь 45, загартовані сталі) та різними механізмами зношування. У всіх випадках структура УОД залишалася незмінною. Методологія реалізована у вигляді блок-схеми з п'яти етапів, при цьому 88% операцій виконуються автоматично.

Показано можливість інтеграції УОД у сучасні цифрові системи, зокрема CAD/PLM-платформи (CREO, Solidworks), IoT-рішення та моделі машинного навчання, завдяки використанню стандартизованих, машиночитаємих форматів даних (JSON/XML).

Визначено напрями подальшого розвитку дослідження, серед яких:

- розширення бази каліброваних моделей для специфічних умов експлуатації (арктичні, тропічні, агресивні середовища);
- інтеграція алгоритмів машинного навчання для автоматичного уточнення параметрів моделей на основі телеметричних даних;
- створення стандартів обміну УОД між CAD/PLM-платформами та системами моніторингу;
- впровадження методології УОД у навчальні програми для підготовки фахівців із предиктивного обслуговування.

Список використаних джерел

1. Aulin, V., Tykhyi, A., Kuzyk, O., Lysenko, S., Hrynkiv, A., Zhylova, I., & Livitskyi, O. (2023). Justification of the effect of the regularities of the flow of nanotribological processes in the materials of joint parts on the increase of wear resistance, reliability and efficiency of the functioning of machines and mechanisms. Problems of Tribology, 28(4/110), 66–75.

2. Victor Aulin, Mykola Mytnyk, Andrii Hrynkiv, Artem Holovatyi, Sergii Lysenko, Uliana Plekan. Prediction of recognized defect combinations in the parts of automobile units, systems, and assemblies using artificial neural network method. Procedia Structural Integrity 59 (2024) 444–451.

Чумак Віталій Миколайович **–** аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: vitaly.chumak@gmail.com

Байцан Віктор Григорович **–** аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: v.baitsan@landtech-ukraine.com

Манько Єгор Валерійович **–** аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: evm0996496486@gmail.com

Аулін Віктор Васильович **–** д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: aulinvv@gmail.com

Лисенко Сергій Володимирович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: sv07091976@gmail.com

Гриньків Андрій Вікторович – к.т.н., старший дослідник, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

Chumak Vitaliy M. – postgraduate student of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: vitaly.chumak@gmail.com

Baytsan Viktor H. – postgraduate student of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: v.baitsan@landtech-ukraine.com

Manko Yehor V. – postgraduate student of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: evm0996496486@gmail.com

Aulin Viktor V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: aulinvv@gmail.com

Lysenko Serhii V. – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: sv07091976@gmail.com

Hrynkiv Andriy V. – Ph.D., Senior Researcher, Senior Lecturer, Department of Operation and Repair of Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com

УДК 656.078.8:658.7

О.А. Чупайленко, А.К. Козлов, Ю.О. Колесник

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ЛОГІСТИЧНИХ СЕРВІСІВ У МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ

Досліджено особливості вибору логістичних сервісів LCL (Less than Container Load), FCL (Full Container Load), LTL (Less than Truck Load) та FTL (Full Truck Load). Визначено ключові критерії ухвалення рішень щодо вибору типу перевезення залежно від характеристик вантажу, економічних показників, умов міжнародних і внутрішніх перевезень. Представлено порівняльну таблицю переваг та обмежень кожного виду сервісу. Запропоновано методичний підхід до вибору оптимальної моделі транспортування з урахуванням вартості, часу доставки, рівня сервісу та ризиків.

Ключові слова: *логістика, міжнародні перевезення, оптимізація, вартість, ризики, ефективність.*

The features of choosing logistics services LCL (Less than Container Load), FCL (Full Container Load), LTL (Less than Truck Load) and FTL (Full Truck Load) are studied. The key decision-making criteria for choosing the type of transportation depending on the characteristics of the cargo, economic indicators, conditions of international and domestic transportation are identified. A comparative table of advantages and limitations of each type of service is presented. A methodological approach to choosing the optimal transportation model is proposed, taking into account the cost, delivery time, level of service and risks.

Keywords: *logistics, transportation, optimization, cost, risks, efficiency*

У сучасних умовах глобалізації логістичні компанії та вантажовідправники стикаються з необхідністю вибору найбільш ефективної моделі транспортування. Рішення щодо використання LCL, FCL, LTL або FTL має прямий вплив на вартість доставки, швидкість та надійність транспортування. Зростаючий обсяг міжнародної торгівлі, поява нових транспортних маршрутів та розвиток цифрових платформ логістики зумовлюють актуальність дослідження проблеми вибору оптимального типу перевезення.

Поняття LCL (Less than Container Load) означає перевезення вантажів, обсяг яких не заповнює повний контейнер, і вони консолідуються разом із вантажами інших клієнтів. Це дозволяє оптимізувати витрати малих та середніх експортерів. FCL (Full Container Load) передбачає оренду всього контейнера під одного вантажовласника. Перевага – повний контроль над вантажем і мінімізація ризиків пошкодження. LTL (Less than Truck Load) використовується у внутрішніх автоперевезеннях, коли вантаж займає лише частину вантажівки, решта простору використовується іншими клієнтами. FTL (Full Truck Load) означає, що одна вантажівка використовується виключно під один вантаж. Це забезпечує швидкість та безпеку, але є дорожчим варіантом [1,2].

Згідно з дослідженнями [1,2], правильний вибір між цими видами перевезень дозволяє знизити логістичні витрати на 15–25% і підвищити якість обслуговування клієнтів (табл.1).

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика видів перевезень

Вид перевезень	Сфера застосування	Переваги	Недоліки
LCL	Малі партії у міжнародній торгівлі	Економія на малих відправках; доступність	Високі ризики пошкоджень; тривалість доставки
FCL	Великі партії, регулярні поставки	Контроль, безпека, швидкість	Висока вартість для неповного завантаження
LTL	Дрібні внутрішні відправки	Гнучкість, економія	Більша кількість точок перевантаження
FTL	Великі партії для одного клієнта	Швидкість, надійність, зниження ризиків	Висока вартість, особливо для малих відправлень

Методичні підходи до вибору оптимальної логістичної моделі залежать від таких критеріїв: обсяг вантажу: великі партії краще перевозити FCL/FTL, малі – LCL/LTL; вартість: необхідно враховувати співвідношення ціни транспортування до вартості вантажу; час доставки: при термінових відправках доцільніше використовувати FCL/FTL; маршрут та інфраструктура: у міжнародних перевезеннях LCL/FCL є базовими, у внутрішніх – LTL/FTL; рівень ризиків: консолідовані перевезення підвищують ризик пошкодження, але здешевлюють доставку. Орієнтовні порогові значення до вибору оптимальної логістичної моделі у табл.2.

Таблиця 2 - Орієнтовні порогові значення до вибору оптимальної логістичної моделі

Вид	Поріг переходу	Пояснення
LCL→FCL	~12–15 м³ або від ~10–12 тонн	При такому обсязі зазвичай дешевше взяти весь 20-футовий контейнер (≈33 м³, вантажопідйомність ~21–22 т), ніж платити за LCL.
LTL→FTL	~10–12 піддонів (половина фури) або ~8–10 тонн	Коли ваш вантаж займає більшу частину вантажівки, вигідніше орендувати всю машину (FTL). Стандартна єврофура = 33 європалети, ~20–22 т.

Ці цифри не жорсткі, вони залежать від: напрямку перевезення; тарифів перевізників; сезонності та завантаження.

FMCG-сектор (Fast Moving Consumer Goods) охоплює товари повсякденного попиту з коротким життєвим циклом: продукти харчування, напої, побутову хімію, засоби гігієни [3]. Їх особливістю є високий рівень оборотності та необхідність стабільної наявності на полицях магазинів. Тому внутрішні перевезення відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності логістики та конкурентоспроможності компаній.

Внутрішні перевезення забезпечують переміщення товарів від виробників та дистриб'юторських центрів до оптових баз, роздрібних торговельних мереж і кінцевих споживачів. Вони сприяють: оперативності постачання з урахуванням обмежених термінів придатності; оптимізації витрат у логістичному ланцюгу; формуванню гнучкої системи постачання для різних форматів торгівлі; підтриманню асортименту та рівня сервісу.

Особливості перевезень FMCG: висока частота доставки — щоденні чи щотижневі рейси; широкий асортимент — сотні товарних позицій у різних кількостях; терміновість — обмежений час зберігання, особливо у харчових продуктів; температурний режим — використання рефрижераторів для охолодженої чи замороженої продукції; дробні партії — потреба у малотоннажному транспорті для постачання торгових точок.

Проблеми внутрішніх перевезень: затримки через перевантаженість доріг у містах; зростання витрат на паливо й обслуговування транспорту; дефіцит кваліфікованих водіїв; складність організації «останньої милі» доставки; втрати продукції через пошкодження чи порушення температурних режимів.

Сучасні тенденції розвитку внутрішніх перевезень: цифровізація процесів через TMS-системи та GPS-моніторинг; використання аутсорсингу логістики (3PL, 4PL); інтеграція з електронною комерцією та сервісами швидкої доставки; екологізація перевезень завдяки електровантажівкам та гібридам.

Ефективні внутрішні перевезення у FMCG-секторі забезпечують безперервність торговельних процесів, знижують логістичні витрати, мінімізують втрати продукції та підвищують рівень обслуговування споживачів. У сучасних умовах ключовим завданням компаній є впровадження цифрових технологій управління перевезеннями та розвиток партнерств з логістичними провайдерами.

Аутсорсинг у сфері логістики та міжнародних перевезень є одним із ключових інструментів підвищення ефективності управління ланцюгами постачання [4]. У міжнародних перевезеннях аутсорсинг забезпечує доступ до глобальної інфраструктури, експертних знань і сучасних технологій управління потоками товарів. Завдяки цьому підприємства отримують можливість оптимізувати витрати, знизити ризики та підвищити швидкість доставки. Крім того, використання послуг провайдерів логістики (3PL, 4PL) дозволяє адаптувати бізнес до змін кон'юнктури світового ринку, що особливо важливо в умовах високої конкуренції та нестабільності зовнішнього середовища.

Комплексне логістичне обслуговування, або Full Service Logistics (FSL), — це модель управління матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками, за якої логістичний провайдер бере на себе весь спектр логістичних функцій підприємства [4]. Воно передбачає не лише виконання окремих операцій, а й інтегроване управління логістичним ланцюгом «від виробника до кінцевого споживача».

Основні складові: транспортна логістика — планування маршрутів, перевезення, управління «останньою милею»; складська логістика — приймання, зберігання, комплектація, пакування; митно-брокерські послуги — оформлення експортно-імпортних вантажів; інформаційна підтримка — використання IT-систем (ERP, TMS, WMS); фінансово-документальний супровід — розрахунки з постачальниками, ведення документообігу; сервіс для клієнтів — контроль якості, відстеження замовлень, гнучка комунікація.

Переваги використання FSL для бізнесу: оптимізація витрат завдяки централізованому управлінню; підвищення якості сервісу за рахунок професійної спеціалізації; гнучкість і масштабованість логістичних процесів; окус на ключових компетенціях підприємства (виробництво, маркетинг, продаж); прозорість і контроль завдяки цифровим технологіям.

У розвинених країнах Full Service Logistics часто забезпечують 3PL- та 4PL-провайдери, які інтегрують транспорт, склади, митницю та IT-рішення. В Україні така модель активно впроваджується у FMCG, e-commerce, фармацевтиці, ритейлі. Великі компанії делегують управління логістикою міжнародним або вітчизняним провайдерам, щоб зменшити витрати і забезпечити швидке реагування на ринкові зміни.

Практичні приклади застосування: Українські експортери агропродукції часто використовують FCL; для дрібних партій текстилю або електроніки вигідним є LCL; у внутрішніх перевезеннях FMCG-сектору ефективним є LTL; для швидкопсувних продуктів чи фармацевтики зазвичай застосовується FTL.

Дослідження показали, що правильний вибір між LCL, FCL, LTL та FTL є ключовим фактором ефективної логістики. Залежно від обсягів вантажу, вимог до вартості й часу доставки компанії можуть оптимізувати свої транспортні витрати та підвищити якість сервісу. Перспективним напрямом подальших досліджень є застосування цифрових платформ для автоматизації вибору логістичних сервісів та інтеграції їх у глобальні ланцюги постачання.

Список використаних джерел

1. Christopher M. Logistics and supply chain management. 6th ed. Pearson Education, 2020. pp. 155–176.
2. Rodrigue J.-P., Comtois C., Slack B. The geography of transport systems. 5th ed. Routledge, 2020. pp. 40–380. DOI: https://doi.org/10.4324/9780429346323
3. Chopra S., Meindl P. Supply chain management: Strategy, planning, and operation. 7th ed. Pearson, 2019. pp. 55–470.
4. Notteboom T. Container shipping and logistics. Routledge, 2021. pp. 124–140. DOI: https://doi.org/10.4324/9781003155705

Чупайленко Олексій Андрійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: dozentalexey@gmail.com

Козлов Аркадій Костянтинович - доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: arkadij3969@gmail.com

Колесник Юрій Олександрович – аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: yukogk1@gmail.com

Chupaylenko Oleksii A.– PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University , e-mail: dozentalexey@gmail.com

Kozlov Arkadii K. - Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University , e-mail: arkadij3969@gmail.com

Kolesnyk Yurii O. - graduate student of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University , e-mail: yukogk1@gmail.com

УДК 629.33.083:620.9

В.Ф. Шапко, С.М. Черненко

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ З РІЗНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Представлено універсальний підхід до об'єктивного оцінювання енергетичної ефективності транспортних засобів із різними типами джерел енергії. Запропоновано єдиний показник енергетичних витрат автомобіля, що визначається як відношення витраченої енергії до виконаної транспортної роботи. Методика базується на чіткій математичній формалізації та дозволяє враховувати вплив ступеня завантаження, дорожніх умов, швидкісного режиму та топографії місцевості. Окреслено зв'язок із підходом «well-to-wheel», що забезпечує системне врахування втрат енергії від джерела до ведучих коліс, а також застосовність методики для автомобілів із ДВЗ, електромобілів та гібридів.

Ключові слова: *автомобіль; джерело енергії; транспортна робота; метод; витрата енергії; економічність; well-to-wheel.*

The paper presents a universal approach to objectively assessing the energy efficiency of vehicles with different energy sources. A single indicator is introduced as the ratio of the energy expended to the amount of transport work performed. The method relies on clear mathematical formalization and accounts for loading degree, road conditions, speed profile, and topography. Its logic is aligned with the well-to-wheel concept, enabling comprehensive consideration of energy losses from source to driven wheels. The approach is applicable to ICE vehicles, BEVs, and hybrids.

Keywords: *automobile; energy source; transport work; method; energy consumption; efficiency; well-to-wheel.*

Зростання екологічних вимог, трансформація енергетичних ринків, збільшення обсягів перевезень та глобальний курс на декарбонізацію транспорту зумовлюють потребу у стандартизованих підходах до оцінювання енергетичної досконалості автомобілів. Огляд наукових робіт засвідчує відсутність єдиного універсального показника, який забезпечував би коректне порівняння транспортних засобів з різними типами енергетичних установок у спільному вимірі; при цьому інтегральний підхід «well-to-wheel» визнається найбільш повним, але вимагає великого обсягу вхідних даних [2]–[4]. У роботі прийнято універсальний показник, що дозволяє пов'язати витрати енергії саме з корисною транспортною роботою автомобіля й тим самим забезпечити адекватне порівняння як традиційних авто з ДВЗ, так і електромобілів та гібридів [5], [6].

Метою роботи є розроблення та апробація методу оцінювання енергетичної ефективності автомобіля за критерієм «витрачена енергія / транспортна робота», придатного до використання для різних джерел енергії. Завдання: формалізувати транспортну роботу як базову величину порівняння; ув'язати енергетичні витрати з реальними втратами в ланцюгу перетворення й передавання енергії; показати еквівалентні представлення показників у зручних для практики одиницях (кДж/100 км; л/100 км; кВт·год/100 км); сформулювати алгоритм розрахунку запасу ходу та потреби в об'ємі паливного баку або ємності АКБ; ідентифікувати чинники чутливості показника.

Методика

Транспортну роботу W визначаємо як добуток повної ваги автомобіля G на шлях S.

$$L_a = G_a \cdot S = m_a \cdot g \cdot S\,. \tag{1}$$

Для експлуатаційних розрахунків масу зручно представляти через повну масу, вантажність і фактичну масу вантажу, виділяючи коефіцієнт завантаження k_B:

$$m_a = m_P - \left(m_B - m_b\right) = m_P\left(1 - \frac{m_B - m_b}{m_P}\right), \tag{2}$$

де m_a – повна маса автомобіля; m_B – вантажність автомобіля; m_b – фактична маса вантажу.

Позначимо вираз у дужках як коефіцієнт k_B, що враховує ступінь завантаження автомобіля:

$$k_B = 1 - \frac{m_B - m_b}{m_P}. \quad (3)$$

Тоді формула (2) набуває вигляду:

$$m_a = m_P k_B. \quad (4)$$

За показник оцінювання енергетичної економічності автомобіля доцільно брати відношення енергії, що витрачена, на виконану транспортну роботу L_a [6]:

$$g_E = \frac{U_E}{L_a}, \quad (5)$$

де U_E – витрачена енергія її джерела, *кДж*.

Чим менше значення g_E, тим вищою є енергоефективність.

Енергія, що підведена до ведучих коліс, витрачається на рух автомобіля, *кДж*:

$$U_K = P_K \cdot S, \quad (6)$$

де P_K – сила тяги на ведучих колесах, *кН*.

Відношення енергії, що підведена до ведучих коліс, до виконаної транспортної роботи визначається за формулою:

$$k_P = \frac{U_K}{L_a}. \quad (7)$$

Оскільки $U_K = P_K \cdot S$ а $L_a = G_a \cdot S$ показник k_p дорівнює відношенню сил:

$$k_P = \frac{P_K}{G_a}. \quad (8)$$

Отже, відношення енергій, що підведена до ведучих коліс, на виконану транспортну роботу можна розглядати як показник ефективності використання сили тяги на рух автомобіля.

Показник k_P, як і показник загальної оцінки економічності автомобіля g_E, також не залежить від типу енергетичної установки та трансмісії автомобіля. Тому його можна використовувати для порівнянної оцінки будь-яких типів автомобілів.

Враховуючи вже наведене, показник енергетичної економічності автомобіля можна визначити за формулою:

$$g_E = \frac{U_E}{L_a} = \frac{k_P}{\eta_K}. \quad (9)$$

Отже, показник економічності автомобіля залежить від коефіцієнта втрати енергії на її перетворення в механічну роботу та передачу до ведучих коліс і коефіцієнта ефективності використання сили тяги.

Енергія, що потрібна для виконання автомобілем транспортної роботи, дорівнює, *кДж*:

$$U_E = L_a \cdot g_E = L_a \frac{k_P}{\eta_K}. \quad (10)$$

Для руху електромобіля використовується електрична енергія, що накопичена в акумуляторних батареях. Таким чином, отримана формула для електромобіля і є безпосередньо формулою визначення його економічності.

Автомобіля з ДВЗ визначають не витрату енергії, а кількість витраченого носія цієї енергії, джерелом якої є автомобільне паливо.

Енергетичним показником автомобільного палива є його нижча теплота згоряння Q_H. Нижчу теплоту згоряння рідкого палива визначають у кілоджоулях на один кілограм палива, а газоподібного – у кілоджоулях на один кубометр газу.

Енергію, що виділяється під час згоряння рідкого палива, визначають за формулою, *кДж*:

$$U_E = Q_H \cdot m_n, \quad (11)$$

де m_n – маса витраченого палива, *кг.*

За подібною формулою розраховують енергію газоподібного палива, *кДж*:

$$U_E = Q_H \cdot V_n, \tag{12}$$

де V_n – об'єм витраченого газоподібного палива за стандартних умов, $м^3$.

Найбільш розповсюджені види рідкого автомобільного палива мають такі приблизні значення нижчої теплоти згоряння: бензин Q_H = 44000 *кДж/кг*, дизельне паливо Q_H = 42500 *кДж/кг*, а газоподібного – 32600…36000 $кДж/м^3$ [9].

Для автомобіля з ДВЗ його економічність прийнято визначати за витратою палива. Враховуючи зв'язок енергії палива з його нижчою теплотою згоряння, отримаємо формулу визначення витрати рідкого палива на виконану транспортну роботу [6], [8] *кг/кДж*:

$$g_a = \frac{m_n}{L_a} = \frac{U_E}{Q_H \cdot L_a} = \frac{k_P}{Q_H \cdot \eta_K}. \tag{13}$$

Економічність автомобіля прийнято визначати за витратою енергії на пройдений шлях, як правило 100 *км, кДж*/100 *км.*

$$g_S = \frac{U_E}{S} \cdot 100. \tag{14}$$

Для автомобілів з ДВЗ визначають витрату палива у літрах на 100 кілометрів пройденого автомобілем шляху.

Показник шляхових витрат палива можна розрахувати за енергетичним показником g_a за формулою, *л*/100 *км*:

$$q_n = \frac{V_n}{S} \cdot 100 = \frac{m_n}{\rho_n \cdot S} \cdot 100 = g_a \frac{m_a \cdot g}{\rho_n} \cdot 100, \tag{15}$$

де ρ_n – щільність палива.

Для електромобіля, зазвичай, електричну енергію визначають у *кВт· год*. Тоді формула (14) набуває вигляду, *кВт· год /100 км*:

$$g_S = \frac{U_E \cdot 100}{3600 \cdot S} = \frac{U_E}{36 \cdot S}. \tag{16}$$

Оскільки джерело енергії перевозиться безпосередньо в автомобілі, важливим параметром автомобіля з будь-якою енергетичною установкою є запас ходу. Запас ходу можна визначити за формулою, *км*:

$$S = \frac{U_E \cdot \eta_K}{k_P \cdot m_a \cdot g}. \tag{17}$$

Потрібну кількість рідкого палива автомобіля з ДВЗ для виконання заданої транспортної роботи автомобіля з ДВЗ можна визначити за формулою, *л*:

$$V = \frac{k_P \cdot L_a}{\eta_K \cdot Q_H \cdot \rho_n} = \frac{k_P \cdot m_a \cdot g \cdot S}{\eta_K \cdot Q_H \cdot \rho_n}. \tag{18}$$

За формулою (24) можна розрахувати кількість палива, яка потрібна для виконання запланованого об'єму транспортної роботи. Це дає конструктору можливість визначити потрібний об'єм паливного баку.

Отриману формулу можна брати в основу для розробки норм витрат палива.

Для електромобілів визначають потрібну ємність акумуляторів. Її можна розрахувати із формули (16), *кДж*:

$$U_E = \frac{k_P \cdot L_a}{\eta_K} = \frac{k_P \cdot m_a \cdot g \cdot S}{\eta_K}. \tag{19}$$

Показаний метод узагальнює різні приводи в спільному енергетичному вимірі, проте чутливий до якості вхідних даних: параметри дороги, реальні цикли руху, температурні умови (для BEV), карти ефективності ДВЗ/електромашин та втрати в силовій електроніці.

Таким чином запропоновано універсальний показник енергетичних витрат як відношення витраченої енергії до транспортної роботи, що уніфікує порівняння авто різних типів. Розроблено систему формул для переходу між енергетичними та галузевими показниками,

включно з запасом ходу та потребами в паливі/АКБ. Показано роль опорів руху та ККД силового ланцюга в формуванні інтегрального показника, що підкреслює важливість шин, аеродинаміки та режимів руху. Метод придатний як для етапу проєктування, так і для експлуатаційної оцінки та нормування витрат у транспорті.

Список використаних джерел

1. Екологічні та економічні: у чому переваги електромобілів. URL: https://zaxid.net/ (дата звернення: 18.05.2025).

2. Mateichyk V., Kostian N., Smieszek M., Gritsuk I., Verbovskyi V. Review of Methods for Evaluating the Energy Efficiency of Vehicles with Conventional and Alternative Power Plants. Energies, 2023.

3. Puma-Benavides D. S. et al. Comparative Analysis of Energy Consumption between Electric Vehicles and Combustion Engine Vehicles in High-Altitude Urban Traffic. World Electric Vehicle Journal, 2024.

4. Aarniovuori L. et al. Energy Efficiency Analysis of Electric Vehicle System Components. IEEE ITEC Asia-Pacific, 2023.

5. Шапко В. Ф., Атамась А. І., Єлістратов В. О. Екологічні багатопараметрові характеристики автомобіля. Вісник КрНУ, 2020.

6. Шапко В. Ф., Черненко С. М. Критерій оцінювання паливної економічності автомобіля як показник його енергетики. Вісник КрНУ, 2023.

7. Черненко С. М., Атамась А. І. Економічні та енергетичні показники роботи дизельного двигуна при використанні біопалива з ріпаку. Вісник КДПУ, 2007.

8. Шапко В. Ф., Черненко С. М. Паливна економічність та екологічність автомобіля: навчальний посібник. Кременчук: КрНУ, 2025.

9. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко Ф. Ф. Автомобільні двигуни. Київ: Арістей, 2004.

Шапко Володимир Федорович – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, e-mail: vfshapko@gmail.com.

Черненко Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, e-mail: sercher174@gmail.com.

Shapko Volodymyr F. – Associate Professor, Professor, Department of Automobiles and Tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: vfshapko@gmail.com.

Chernenko Serhii M. – Associate Professor, Associate Professor, Department of Automobiles and Tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: sercher174@gmail.com.

УДК 656.1 : 658 : 62-5.007

С.М. Шарай, М.П. Рой, В.П. Сахно, В.М. Поляков

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ У ПРОЦЕСАХ ВИКОНАННЯ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Розглянуто доцільність застосування системного підходу при організації та виконанні вантажних автомобільних перевезень з урахуванням можливості взаємодії автотранспортних підприємств. Запропоновано методику розподілу замовлень на виконання перевезень вантажів між автотранспортними підприємствами, які взаємодіють між собою, шляхом розрахунку показників, які визначають ступінь сумісності замовлень.

Ключові слова: *системний підхід, взаємодія автотранспортних підприємств, замовлення на виконання перевезень, коефіцієнт сумісності замовлень.*

The feasibility of using a systematic approach in organizing and executing of freight road transportation, taking into account the possibility of interaction between road transport enterprises, is considered. A method for distributing orders for the executing of freight transportation between road transport enterprises that interact with each other is proposed by calculating indicators that determine the degree of compatibility of orders.

Keywords: *systematic approach, interaction of road transport enterprises, order for executing the transportation, order compatibility coefficient.*

Застосування системного підходу у процесах виконання перевезень вантажів рухомим складом автомобільного транспорту передбачає узгодження роботи взаємопов'язаних елементів транспортної системи при організації та виконанні доставки вантажів, яка спрямована на підвищення ефективності перевезень та якості обслуговування замовників транспортних послуг, забезпечення надійності виконання замовлень на перевезення та зменшення та усунення ризиків, пов'язаних із відмовою у їх виконанні.

В умовах сьогодення забезпечення надійності та стабільності виконання перевезень різних видів вантажів є вкрай важливим завданням для автотранспортних підприємств. Однак підприємства, отримуючи замовлення на перевезення вантажу, інколи не можуть забезпечити його виконання, враховуючи наявність проблем із нестачею водіїв або транспортних засобів необхідного типу чи вантажопідйомності. В таких випадках доцільним є застосування системного підходу в організації та виконанні вантажних автомобільних перевезень з урахуванням можливості взаємодії автотранспортних підприємств з точки зору спільного виконання замовлень на перевезення шляхом передачі замовлення партнеру по кооперації, використання його автотранспортного засобу тощо.

Вирішення поставленого завдання базується на удосконаленні розподілу замовлень на перевезення вантажів між автотранспортнми підприємствами, які взаємодіють між собою, з метою забезпечення надійності та стабільності виконання процесу доставки вантажу. Взаємодія декількох автотранспортних підприємств передбачає об’єднання замовлень на виконання перевезень з метою більш ефективного їх перерозподілу і виконання, що дозволить їм з більшою ефективністю використовувати власні та орендовані автотранспортні засоби [1-3]. Визначення критеріїв, які покладені в основу розподілу замовлень на виконання вантажних автомобільних перевезень між автотранспортними підприємствами, які є партнерами по кооперації, можливо виконати, враховуючи часові зв’язки між виконанням таких замовлень.

Між замовленнями на виконання перевезень вантажів можна встановити певні співвідношення, такі як сумісність, концентрація, впорядкованість [4]. Коефіцієнт сумісності усіх замовлень показує, наскільки сумісними є вибрані замовлення, які плануються до виконання, в одній множині. Коефіцієнт сумісності замовлень розраховується для оцінки ступеню сумісності замовлень. Сумісними будуть вважатися замовлення i, j, які виконуються одним автотранспортним засобом без урахування нульового та порожнього пробігу, простоїв в очікуванні навантаження або розвантаження [4].

Коефіцієнт сумісності замовлень, який характеризує сумісність виконання замовлень у послідовності $j \rightarrow i$, розраховується:

$$K_c^{j,i} = \frac{a_{0,i}}{a_{j,i}}, \quad (1)$$

де $a_{0.i}$ − тривалість виконання замовлення Z_i без попереднього виконання жодних інших замовлень та без нульового пробігу, очікування навантаження або розвантаження тощо; $a_{j.i}$ − тривалість виконання замовлення Z_i після виконання замовлення Z_j.

Коефіцієнт сумісності замовлень може мати найвище значення, яке буде доріавнювати 1, якщо замовлення виявляються цілком сумісними. Менше значення цього коефіцієнту буде відповідати меншій сумісності. Замовлення, для яких цей коефіцієнт буде більшим за 0 або меншим за 1, будуть вважатися частково сумісними.

Для оцінки ефективності взаємодії автотранспортнх підприємств з точки зору їх кооперації у виконанні замовлень на перевезення, оцінки концентрації замовлень на визначеній території, яка може обслуговуватися декількома автотранспортними підприємствами, і такі підприємства можуть взаємодіяти між собою, використовується коефіцієнт концентрації замовлень [5]:

$$K_k = \frac{N_z}{N_q}, \quad (2)$$

де N_z – кількість замовлень, які необхідно виконанти впродовж певного періоду часу; N_q − кількість вантажовідправників і вантажоодержувачів (транспортних пунктів), для яких необхідно виконанти замовлення впродовж певного періоду часу.

Коефіцієнт концентрації замовлень відображає час, необхідний для виконання їздки з вантажем або без вантажу. Максимальне значення коефіцієнту концентрації замовлень становить 1. Мінімальне його значення відповідає умові, коли кожне замовлення стосується двох окремих транспортних пунктів. Відхилення від 1 вказує на ступінь сприятливості умов для виконання замовлення на перевезення автотранспортними підприємствами при їх взаємодії.

Впорядкованість виконання замовлень здійснюється за пріоритетами, якими передбачаються такі умови:

- найвищий пріоритет визначається коефіцієнтом сумісності замовлень;
- якщо є декілька замовлень, які не відрізняються між собою за коефіцієнтом сумісності, тоді пріоритет виконання замовлення встановлюється за коефіцієнтом концентрації. Перевагу матиме замовлення, для якого коефіцієнт концентрації наближається до свого максимуму.

Запропонована методика розподілу замовлень на виконання перевезення вантажів між автотранспортними підприємствами, які взаємодіють між собою, дозволяє вирішити задачу надійного та стабільного забезпечення процесу планування, організації та надання послуг з перевезення вантажу. Застосування системного підходу в цих процесах сприяє забезпеченню надійності виконання транспортного прооцесу доставки вантажу та дозволяє зменшити ризики від його не виконання, якщо автотранспортні підприємства будуть кооперуватися у своїй діяльності з надання транспортних послуг.

Список використаних джерел

1. Cruijssen F., Cools M., Dullaert W. Horizontal cooperation in logistics: Opportunities and impediments. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2007. No 43(2). P. 129–142. doi: 10.1016/j.tre.2005.09.007.

2. Gansterer M., Hartl R., Vetschera R. The cost of incentive compatibility in auction-based mechanisms for carrier collaboration. Networks. 2019. No 73(4). P. 490−514. doi: 10.1002/net.21828.

3. Ganstererand M., Hartl R.F. Collaborative vehicle routing: Asurvey, Eur. J. Operational Research. 2018. No 268. P. 1–12. doi: 10.1016/j.ejor.2017.10.023.

4. Oliskevych M. Dynamic scheduling of highway cargo transportation ICCPT 2019. Proceedings of 1st Internat. Scientific Conference «Current Problems of Transport 2019» (Ternopil. May, 2019). Ternopil, Ukraine, 2019. P. 141-151. doi: 10.1007/s10489-006-0033-z.

5. Рой М.П. Метод оптимізації інтегрованого транспортного процесу вантажних автомобільних перевезень. Вчені записки Таврійського НУ ім. В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2020. № 31 (70). №5. С. 220-227. doi: https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/36.

Шарай Світлана Михайлівна – к.т.н., доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: svetasharai@gmail.com

Рой Максим Петрович – доктор філософії, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: 7569027@ukr.net

Сахно Володимир Прохорович – д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: svp_40@ukr.net

Поляков Віктор Михайлович – к.т.н., доцент, професор кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: poljakov_2006@ukr.net

Svitlana Sharai – PhD (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: svetasharai@gmail.com

Maksym Roi – Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: 7569027@ukr.net

Volodymyr Sakhno – DrSc (Eng.), Professor, Head of the Department of Automobiles, National Transport University, Kyiv, e-mail: svp_40@ukr.net

Victor Poliakov – PhD (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automobiles, National Transport University, Kyiv, e-mail: poljakov_2006@ukr.net

УДК 656.132:629.113

В.В. Шевчук, І.В. Бачинська

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБГОНУ

У роботі розглянуто основні параметри обгону транспортних засобів, що визначають безпечність виконання даного маневру. Визначено безпечну дистанцію для автомобіля, що виконує обгін та автомобіля, якого обганяють; шлях та час, необхідний для виконання маневру обгону та довжину смуги, яка повинна бути вільна перед автомобілем, який виконує обгін.

Ключові слова: *обгін, швидкість руху, безпечна швидкість.*

The paper examines the main parameters of vehicle overtaking that determine the safety of this maneuver. A safe distance for the overtaking vehicle and the overtaken vehicle has been established, along with the distance and time required to complete the overtaking maneuver, as well as the lane length that must remain clear ahead of the overtaking vehicle.

Key words: *overtaking, driving speed, safe speed.*

Безпека дорожнього руху забезпечується злагодженим функціонуванням усіх складових системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» (ВАДС). Порушення надійності будь-якого елемента цієї системи – дисципліни учасників руху, технічного стану транспортних засобів, якості проїзної частини чи погодних умов – є причинами дорожньо-транспортних пригод (ДТП).

Проблема аварійності на дорогах України залишається надзвичайно актуальною. Незважаючи на те, що рівень автомобілізації в Україні є одним із найнижчих у Європі й становить 232 автомобілі на 1000 осіб, показник смертності внаслідок дорожньо-транспортних пригод приблизно удвічі перевищує середній рівень країн Європейського Союзу (ЄС). При цьому рівень автомобілізації населення в Україні у 2,6 раза нижчий, ніж у середньому по ЄС [2].

За даними Департаменту патрульної поліції (ДПП), за період з 01.01.2025 по 31.07.2025 року сталося 265 ДТП пов'язаних з порушенням правил обгону, що на 12% більше ніж за аналогічний період 2024 та на 15 % з 2023 роками [2].

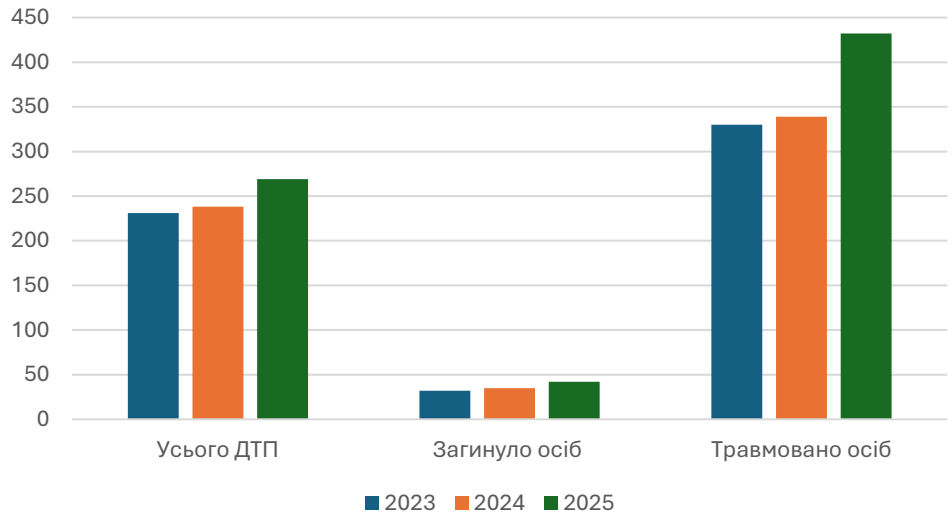


Рисунок 1 – Статистика ДТП

Маневр обгону належить до категорії найбільш складних та небезпечних процесів керування транспортним засобом. Він вимагає від водія високої точності оцінювання дорожньої обстановки, прогнозування розвитку подій та дотримання параметрів для його здійснення. Зважаючи на підвищені швидкісні режими, навіть незначні відхилення від установлених правил або помилки у розрахунках здатні спричинити виникнення дорожньо-транспортних пригод із серйозними наслідками для учасників дорожнього руху.

З огляду на вище зазначене, дослідження параметрів обгону є актуальним завданням сьогодення.

Для більш детального аналізу обгону, доцільно визначити фактичні і необхідні величини шляху і часу для його виконання. Порівняння цих даних дозволить зробити висновок про правомірність дій учасників обгону.

Параметри обгону транспортних засобів визначаємо за умови їх руху з постійною швидкістю (швидкість руху автомобіля, що обганяє $V_1 = 100$ км/год; швидкість руху автомобіля, якого обганяють $V_2 = 65$ км/год; швидкість зустрічного автомобіля V_3 = 90 км/год; габарити автомобіля, який обганяє l_2 = 4,515 м; габарити автомобіля, якого обганяють l_3 = 11,96 м) [3].

На рис. 2 наведені основні параметри обгону під час рівномірного руху транспортних засобів [3].

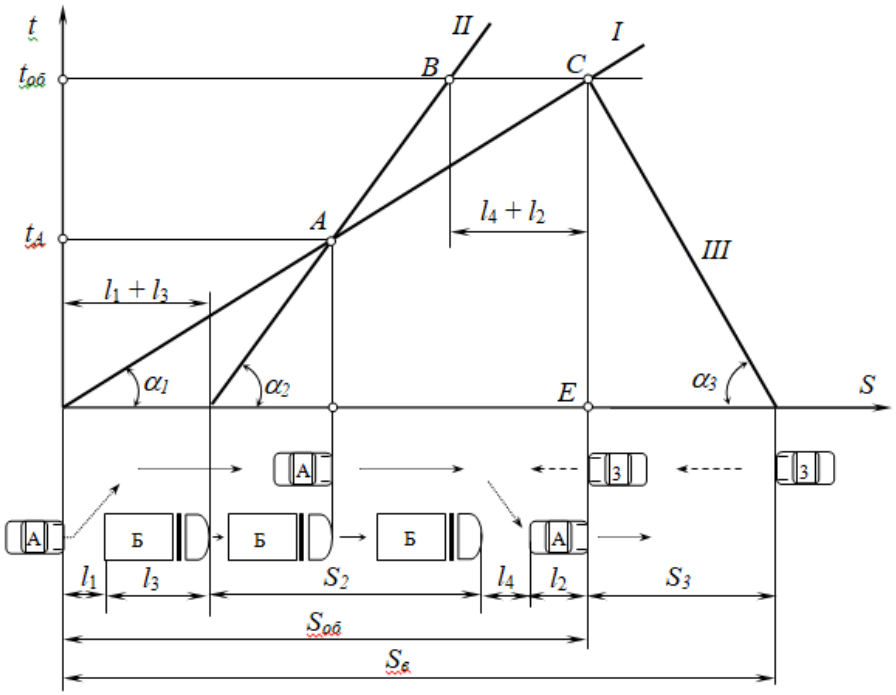


Рисунок 2 – Характеристика обгону під час рівномірного руху

Безпечна дистанція для автомобіля, що обганяє l_1 і автомобіля, якого обганяють l_4 (рис. 2) визначається за формулами (1) та (2) відповідно [3].

Безпечну дистанція l_1 можна записати у вигляді функції швидкості автомобіля, що обганяє:

$$l_1 = a\ V_1 + 4{,}0, \tag{1}$$

а інша (l_4) – у вигляді функції швидкості автомобіля, якого обганяють:

$$l_4 = b\ V_2 + 4{,}0, \tag{2}$$

де a і b – емпіричні коефіцієнти, що залежать від типу автомобіля, якого обганяють, a = 0,53, b = 0,48; V_1 – швидкість автомобіля, що обганяє, м/с; V_2 – швидкості автомобіля, якого обганяють, м/с.

Шлях $S_{об}$ та час $t_{об}$, необхідні для виконання маневру обгону визначаємо за формулами (3) та (4) [3].

За час обгону $t_{об}$ автомобіль А проїде відстань $S_{об}$ (м):

$$S_{об} = \frac{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)V_1}{V_1 - V_2}, \tag{3}$$

де l_1 – безпечна дистанція до автомобіля, який обганяють, м; l_2, l_3 – габарити автомобілів, відповідно, який обганяє l_2 та якого обганяють l_3, м; l_4 – безпечна дистанція від автомобіля, якого

обганяють, м; V_1 – швидкість автомобіля, який обганяє, км/год.; V_2 – швидкість автомобіля, який обганяють, км/год.

Час обгону $t_{об}$ (с) визначається за формулою (4) [3]:

$$t_{об} = \frac{3,6(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)}{V_1 - V_2}. \quad (4)$$

де l_2 – габарити автомобіля, який обганяє, м; l_3 – габарити автомобіля, якого обганяють, м;

Визначити довжину смуги, яка повинна бути вільна перед автомобілем, що здійснює обгін.

Мінімальну відстань (довжину смуги) $S_в$ (м), яка повинна бути вільна перед автомобілем, що обганяє, на початку обгону, визначається за формулою (5) [3]:

$$S_в = S_{об} + S_3 = S_{об}\left(1 + \frac{V_3}{V_1}\right), \quad (5)$$

де S_3 і V_3 – шлях (м) і швидкість (км/год.) зустрічного автомобіля.

Таблиця 1 – Результати визначення параметрів обгону транспортних засобів.

Швидкість руху автомобіля, що обганяє, V_1, (км/год)/(м/с)	Швидкість руху автомобіля, який обганяю, V_2, (км/год) /(м/с)	Швидкість зустрічного автомобіля V_3, (км/год)/(м/с)	Шлях необхідні для виконання маневру обгону, $S_{об}$, (м)	Час обгону $t_{об}$, (с)	Довжина смуги для виконання маневру обгону, $S_в$ (м)
95/26,4	75/20,8	90/25	225,4	2,39	438,84
100/27,7	85/23,6		322,98	3,187	614,47
120/30,33	95/26,4		368,9	1,91	673,27
140/38,88	110/30,55		223,13	1,59	366,6

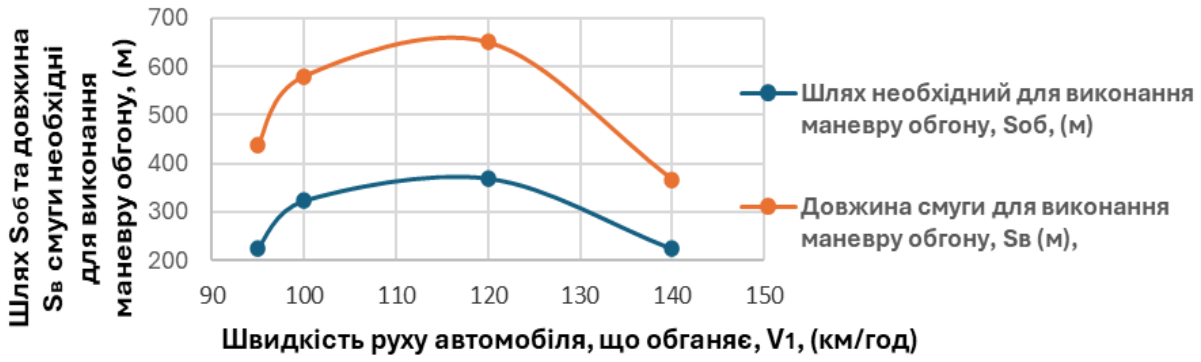


Рисунок 3 – Залежності шляху обгону $S_{об}$ та довжини смуги $S_в$ від швидкості руху V_1

Проведенні дослідження дозволили визначити основні параметри обгону транспортних засобів, які забезпечують безпеку виконання даного маневру, а саме шлях, необхідний для виконання маневру обгону $S_{об}$, довжина смуги для виконання маневру обгону, $S_в$ та час обгону $t_{об}$.

Отриманні залежності для визначення довжини та часу обгону, а також мінімально необхідної вільної ділянки дороги з урахуванням швидкості руху автомобілів, їхніх габаритів і дистанцій безпеки. Встановлено, що правильний розрахунок зазначених показників дає можливість знизити ризик виникнення аварійних ситуацій під час обгону, що дозволить підвищити рівень безпеки дорожнього руху загалом.

Список використаних джерел

1. Ірина Бачинська, Віктор Шевчук. Поперечна стійкість автомобілів, як складова безпеки дорожнього руху. Міжнародна науково-практична конференція «Транспортні системи та технології»: тези доповідей, 15–16 травня 2025 року. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2025. С. 46–48. ISBN 978-966-994-056-8.

2. Ірина БАЧИНСЬКА, Віктор ШЕВЧУК. Методика дослідження кількісного аналізу дорожньо-транспортних пригод. Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 13 грудня 2024 року. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С. 211-212.

3. Лобашов А. О. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху»: навч. посіб. / О.О. Лобашов, О.В. Прасоленко; Харк. нац. акад. міськ. Госп-ва. Харків: ХНАМГ, 2011. 221 с.

4. Засоби організації дорожнього руху. *Дорожні знаки*: навч. Посіб. Вид. 2-ге, доповнене / В.В. Шевчук, О.М. Сукач., О.С. Миронюк. Львів: *Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*, 2024. 130 с.: іл. ISBN 978-617-8654-01-6.

Шевчук Віктор Володимирович **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Бачинська Ірина Володимирівна **–** здобувачка освіти навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Viktor Shevchuk – PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Vehicle Operation and Fire-Rescue Equipment, Lviv State University of Life Safety, e-mail: shevtyk@meta.ua

Iryna Bachynska – A student of the Faculty of Fire and Technogenic Safety at Lviv State University of Life Safety

УДК 656.1

І.А. Шльончак

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НЕЙРОМЕРЕЖ ПРИ ПАРКУВАННІ АВТОМОБІЛІВ

Розглянуто перспективну технологію розпізнавання паркувальних місць з використанням нейромереж. Встановлені вихідні дані для ефективного застосування технологій паркування автомобілів, що використовують нейромережі. Проаналізовано вимоги, що ставляться до технологій паркування автомобілів для забезпечення коректного їх функціонування.

Ключові слова: *сучасні технології паркування, нейромережа, паркування, розпізнавання паркувальних місць.*

The promising technology for recognizing parking spaces using neural networks is considered. Initial data for the effective application of car parking technologies using neural networks are established. Requirements for car parking technologies to ensure their correct functioning are analyzed.

Keywords: *modern parking technologies, neural network, parking, parking space recognition.*

У контексті стрімкого розвитку сучасних технологій спостерігається тенденція до автоматизації дедалі більшої кількості повсякденних процесів. Значні інвестиції та дослідницька увага спрямовуються на розробку систем автономного керування транспортними засобами, алгоритмів комп'ютерного зору та суміжних інноваційних напрямів. Одночасно, зростання щільності міського населення та інтенсивне збільшення кількості автомобілів спричиняють суттєве навантаження на існуючу інфраструктуру, що актуалізує потребу в її модернізації та адаптації до нових умов, зокрема і в питанні паркування автомобілів. Ось чому аналіз існуючих перспективних технологій, які використовують нейромережі в організації паркувального простору, надзвичайно важливо. Одна із перспективних таких технологій дозволяє паркувати автомобілі шляхом автоматичного розпізнавання транспортних засобів та вільних паркомісць на основі аналізу зображень, отриманих із зовнішніх камер відеоспостереження, розміщених над відповідними ділянками [1].

Запропонована система здатна сприяти вирішенню проблем, пов'язаних із паркуванням транспортних засобів на перевантажених прибудинкових територіях. Зокрема, вона може інформувати водіїв про відсутність вільних місць, тим самим запобігаючи неефективному заїзду у двір, або, навпаки, вказувати на наявні паркомісця. Крім того, така технологія є доцільною для застосування у громадських зонах паркування в межах міста, зокрема поблизу торговельно-розважальних центрів та інших об'єктів інфраструктури [1].

У перспективі, більш масштабована та інтегрована система здатна забезпечити ефективнішу організацію транспортного руху, надавати статистичні дані та аналітичну інформацію щодо рівня завантаженості паркувальних зон. Крім того, її можлива інтеграція з системами автопілотного керування сприятиме автоматизації окремих завдань, а функціональність відкритої онлайн-платформи для користувачів дозволить здійснювати бронювання та оплату паркомісць у режимі реального часу. Для більш ефективної реалізації вище зазначеної технології доцільно використовувати нейронні мережі з метою автоматичного розпізнавання транспортних засобів на зображеннях. Такий вибір зумовлений зростаючою доступністю інструментів та платформ із умовно безкоштовними обчислювальними ресурсами, що дозволяють ефективно здійснювати навчання моделей глибокого навчання. Крім того, слід передбачити застосування додаткових алгоритмів для обробки та аналізу інформації, отриманої зі зображень, з метою підвищення точності та функціональності системи [1].

Технологія із використання нейромережі має забезпечувати автоматичне виявлення вільних паркомісць на основі зображень, отриманих із зовнішніх камер відеоспостереження, розміщених над паркувальними майданчиками. Для цього необхідно надати технології фотографічні зображення відповідної ділянки, а саме – ті самі зображення з візуально позначеними незайнятими місцями для паркування. Для забезпечення коректного функціонування технології, що використовує нейромережі, на різнотипних паркувальних майданчиках передбачається використання історичних даних — зображень, отриманих із певної камери за визначений часовий проміжок. Це дозволяє ідентифікувати розташування паркомісць,

які в подальшому можуть бути позначені як вільні на нових зображеннях. Такий підхід сприяє узагальненню системи, зокрема у випадках, коли паркувальні зони не мають чіткої розмітки, характеризуються хаотичним розміщенням об'єктів (наприклад, прибудинкові території) або мають нестандартну структуру. Історичні зображення можуть бути додані чи оновлені в процесі експлуатації системи з метою її перекалібрування та підвищення точності розпізнавання [1-2].

Технології для організації паркування автомобілів з використанням нейромереж повинні передбачати рівень сервісних додатків, рівень сприйняття, рівень аналізу даних та рівень управління. Така технологія використовує систему opm15, а розпізнавання паркувального місця використовує покращений алгоритм згорткових нейронних мереж (CNN) та технологію розпізнавання зображень. На рисунку 1 показана приклад ідентифікації паркувальних місць. Система розпізнавання паркувального місця обладнана на власне парковці. Завдяки обробці даних у режимі реального часу можливо встановити, чи кожне паркувальне місце на зайняте. Таким чином використовується технологія розпізнавання паркувальних місць на основі вдосконаленого алгоритму нейронної мережі [2].

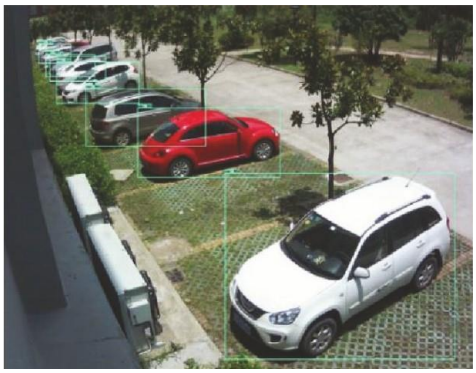


Рисунок 1 – Ідентифікація паркувальних місць в режимі реального часу

Спочатку паркувальне місце знаходиться, а потім вибирається найкоротший шлях. Для опису алгоритму шляху створюється модель системи паркування. З метою вирішення проблем перешкод на шляху у системі виявлення шляху використовується метод поєднання технології усунення перешкод з удосконаленою технологією детекторів. Така технологія паркування здатна контролювати похибку паркування, має більш ніж на 25,64% менший час паркування, та більш ніж на 34,83% менший час, ніж ручне паркування [2].

Отже, проаналізувавши існуючу перспективну технологію паркування автомобілів із застосуванням нейромереж, слід відзначити високу перспективу її використання за призначенням.

Список використаних джерел

1. Paulo R.L. PKLot – A robust dataset for parking lot classification / Paulo R.L. de Almeidaa, Luiz S. Oliveiraa etc. Elsevier: Expert Systems with Applications, 2015. V.42. 4937-4949.

2. Yucheng Guo. Automatic Parking System Based on Improved Neural Network Algorithm and Intelligent Image Analysis / Yucheng Guo, Hongtao Shi. Hindawi: Computational Intelligence and Neuroscience, 2021. Article ID 4391864. https://doi.org/10.1155/2021/4391864

Шльончак Ігор Анатолійович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та технології їх експлуатації, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, e-mail: Igor_Shlionchak@ukr.net

Shlonchak Ihor A. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of vehicles and technology for their operation, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, e-mail: Igor_Shlionchak@ukr.net

УДК 656.12.83(075.8)

Д.З. Шматко, М.В. Калістратов

РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ ВИКОНАННІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Встановлено взаємозв'язок між відстанню перевезення вантажу, розміром даного споживання та оптимальною партією вантажу, для певної вантажопідйомності автомобіля, що дає змогу знизити собівартість вантажних перевезень та забезпечити оптимальний вибір рухомого складу.

Ключові слова: *вантаж, автомобіль, оптимальний, перевезення, продуктивність, собівартість, система.*

The paper establishes the relationship between the distance of cargo transportation, the size of this consumption and the optimal batch of cargo, for a certain load capacity of the car, which allows to reduce the cost of freight and ensure the optimal choice of rolling stock.

Keywords: *cargo, car, optimal, transportation, productivity, cost, system.*

Важливим завданням організації перевезень є вибір ефективних транспортних засобів, що найповніше відповідають конкретним умовам. Техніко-експлуатаційні показники роботи автомобіля визначаються організацією перевезень та комплексом його експлуатаційних властивостей: вантажопідйомністю, використанням маси, швидкісними характеристиками, паливною економічністю та іншим [1, 2].

Метою роботи є вирішення взаємопов'язаних задач по визначенню спеціалізації та підбору вантажопідйомності рухомого складу, що забезпечує низьку собівартість перевезень і високу продуктивність автомобіля.

Оскільки вибір вантажопідйомності автомобіля для доставки вантажів на маршрутах розвезення представляє собою екстремальну задачу, а значення оптимальної вантажопідйомності автомобіля залежить від середнього розміру партії вантажу, являє інтерес сумісний розв'язок задач вибору розміру партії вантажів і вантажопідйомності автомобіля [3]:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial S\left(q_{p,}q_a\gamma_p\right)}{\partial q_p}=0\\ \frac{\partial S\left(q_{r,}q_a\gamma_p\right)}{\partial\left(q_a\gamma_p\right)}=0\end{aligned}\right\} q_r=q\,. \tag{1}$$

Залежність загальних затрат, що приходяться на 1 т перевезеного вантажу, від середнього розміру партії q подається рівнянням:

$$S(q)=a+\frac{b}{q}+cq\,. \tag{2}$$

Щоб визначити як залежить від вантажопідйомності автомобіля $q_a\gamma_p$ загальні витрати, необхідно в рівнянні замінити функцію $S_T(q)$ відповідною формулою, що відображує залежність від цієї величини собівартості доставки [4].

Диференціюючи рівняння (1) залежності витрати на 1 т вантажу, що перевозиться, відповідно за $q_{p\ опт}$ і $q_a\gamma_{p\ опт}$, і прирівнюючи до нуля, приходимо до виразів:

$$q_{ропт}=\left(1+k_T\right)\sqrt{\frac{\left[a_{в.з}\left(1+k_c\right)+\frac{C_{км}}{\delta}\left(\overline{l}_{(i-1)-i}+\frac{l_н}{T_н}t_з\right)+C_{пос}t_з\right]r}{\left[0{,}5C_{зб}+C_{тар}k_Tk_{пв}\left(1+k_c\right)\right]}}\,; \tag{3}$$

$$q_a\gamma_{ропт}=\left(1+k_T\right)\sqrt{\frac{q_p\left(r\overline{l}_i-\overline{l}_{(i-1)-1}\right)a_{км}}{b_{км}\overline{l}_{(i-1)-1}+\left(\frac{l_н}{T_н}b_{км}+\delta b_{пос}\right)\left[t_T\left(1+k_c\right)q_p+t_з\right]}}\,. \tag{4}$$

Величини $C_{км}$ та $C_{пос}$ в рівнянні (3) залежать від вантажопідйомності автомобіля.

Найбільш просто ця система (3-4) розв'язується ітераційним методом.

Задаючи повну вантажопідйомність автомобіля за формулою (3) знаходять відповідний їй оптимальний розмір середньої партії вантажу, а потім за формулою (3) – відповідну оптимальну вантажопідйомність. Обчислення повторюють до тих пір, поки два послідовних розрахунки не приводять до вибору однієї і тієї вантажопідйомності: ця вантажопідйомність і відповідний їй середній розмір партії вантажу є оптимальними [5, 6].

При доставці вантажів в оборотній тарі (контейнерах) окрім зазначеного, враховуються також витрати, пов'язані зі зняттям тари з обороту.

Вартість збереження запасу x протягом одиниці часу:

$$S_{зб}(x) = x \cdot C_{зб} + C_{тар} \cdot q_T \cdot k_{п.в}, \tag{5}$$

де $C_{зб}$, $C_{тар}$ – затрати на збереження 1 т продукції і тари в одиницю часу;
q_T – маса тари в одній партії завозу, т;

$k_{п.в} = t_{в.т} / t_q$ – коефіцієнт, що враховує періодичність вивезення тари;

$t_{в.т}$, t_g – інтервали часу відповідно між черговими відправленнями тари й черговими доставками продукції.

Оскільки

$$q = q_T + q_n = \left(1 + \frac{1}{k_T}\right) \cdot q_T, \tag{6}$$

де q_n – маса продукції в одній партії завезення, т;

$k_T = \frac{q_T}{q_n}$ – коефіцієнт тари, то

$$S_{зб}(x) = x \cdot C_{зб} + \frac{C_{тар} \cdot k_{п.в} \cdot k_T}{1 + k_T} \cdot q. \tag{7}$$

Найпростішою моделлю управління запасами є модель, в якій затрати на виконання замовлення не залежить від розміру партії вантажу.

Але більш поширеним випадком є випадок, коли вартість виконання замовлення партії вантажу розміром q.

$$S_{Зам}(q) = a_{в..з} + b_{в..з} \cdot q, \tag{8}$$

де $a_{в..з}$ та $b_{в..з}$ – сталі величини.

Визначаємо вартість організації замовлення партії вантажу виразом:

$$S_{Зам}(q) = \begin{cases} a_{в..3} + b_{в..3} \cdot q, & q > 0; \\ 0, & q = 0. \end{cases} \tag{9}$$

Моделі лінійного програмування, масового обслуговування, управління вибору маршруту мають цільову функцію виду:

$$S_m(q) = \begin{cases} a_1, & q > q_a \gamma_{ст}; \\ a_2 + \dfrac{b_2}{q} + c_2 q, & q = q_a \gamma_{ст}; \\ a_3 + \dfrac{b_3}{q}, & q < q_a \gamma_{ст}. \end{cases} \tag{10}$$

а вартість збереження запасу X протягом одиниці часу

$$S_{зб}(x) = \begin{cases} C_{зб} x + pq, & x \geq 0 \\ pq, & x < 0 \end{cases}. \tag{11}$$

Розглянемо найпростішу модель управління запасами однорідної продукції при відомому постійному попиті з інтенсивністю r. Невідомою величиною у цьому випадку є розмір поставки q, пов'язаний з розміром партії продукції, що завозиться

$$q_n = q(1+kr). \tag{12}$$

При детермінованих попиті і поставці не виникає необхідність у страхуванні запасу – замовлення повторюється після зменшення запасу.

Поточне значення запасу в момент часу *t* характеризує функція

$$x(t) = q_n - rt. \tag{13}$$

З умови $x(t_д) = 0$ визначають інтервал доставки

$$t_д = \frac{q_n}{r}. \tag{14}$$

Для кожного інтервалу доставки динамічну задачу розв'язують незалежно, тобто, розглядають послідовність незалежних статичних задач (моделей).

В першій моделі мають значення тільки затрати виконання замовлення і вартість збереження. Часті замовлення дрібними партіями збільшують затрати організації замовлення, а рідкі, що здійснюються великими партіями – затрати збереження.

Виходячи з конкретних умов, можна встановити взаємозв'язок між відстанню перевезення вантажу, розміром його денного споживання, вартістю вантажу та оптимальною вантажопідйомністю рухомого складу, при якій сумарні затрати, що складаються з затрат на перевезення вантажу, вартості матеріальних засобів в обігу та капіталовкладень в рухомий склад й складське господарство, досягають мінімуму.

Список використаних джерел

1. Давидич Ю.А., Северин О.А., Засядько Д.В. Дослідження закономірностей змін параметрів руху автомобілей при перевозі грузів / Ю.А. Давидич, О.А. Северин, Д.В. Засядько // Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ , 2012.- Вип. 3(14). С. 56-58

2. Босняк М.Г. Вантажні автомобільні перевезення. Навчальний посібник. -2-у вид. –К.: Видавничий дім „Слово", 2013-408 с.

3. Шматко Д.З., Коробочка О.М., Авер'янов В.С., Сасов О.О., Вернигора В.Д. Організація та планування автомобільних вантажних перевезень. Наукове видання – Кам'янське: ДДТУ, 2020 – 166 с.

4. Карнарчук В.Є., Курніков І.П. Виробничі системі на транспорті: підручник. –К.: Вища школа, 2017 - 359 с.

5. Оліскевич М.І. Організація автомобільних перевезень. Частина 1. Вантажні перевезення – Львів: Львівська політехніка, 2017 – 336 с.

6. Кислий В.М., Біловодська О.А., Олефіренко О.М. Логістика: теорія та практика: навч. посіб. –К.: Центр учбової літератури, 2015-360 с.

Шматко Дмитро Захарович **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, e-mail: shmatkodima@ukr.net

Калістратов Михайло Владиславович **–** бакалавр кафедри автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, e-mail: mkalistratov90@gmail.com

Shmatko Dmytro Z. **–** PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems, Dnipro State Technical University, Kamianske, e-mail: shmatkodima@ukr.net

Kalistratov Mykhailo V. **–** bachelor of the Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems, Dnipro State Technical University, Kamianske, e-mail: mkalistratov90@gmail.com

УДК 62-231.311.2

А.М. Шостачук, Б.В. Ємець, О.П. Рябчук

ЗОБРАЖЕННЯ ТА ДЕЯКІ ВЛАСТИВОСТІ ГРАФІВ ПЛОСКИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ ІІ КЛАСУ З ДВОМА ВХІДНИМИ ЛАНКАМИ

Розглянуто побудову та властивості графів плоских важільних механізмів ІІ класу з двома вхідними ланками.. В якості прикладів запропоновано механізм з однією структурною групою ІІ класу та механізм з трьома такими структурними групами. Запропоновано формулу для визначення ступеню рухомості механізму, якщо є відомими кількість вхідних ланок, кількість структурних груп ІІ класу та кількість ребер графу.

Ключові слова: *механізм, структурна група, ступінь рухомості, граф, вершина графа, ребро графа.*

They considered the construction and properties of graphs of planar lever mechanisms of class II with two input links. For example they proposed a mechanism with one structural group of class II and a mechanism with three such structural groups. It was proposed a formula for determining the degree of mobility of the mechanism if the number of input links, the number of structural groups of class II and the number of edges are known.

Keywords: *mechanism, structural group, degree of mobility, graph, vertex, edge.*

Розглядаючи більшість механізмів, з яких складаються механічні системи різноманітних технологічних та транспортних машин, зазначимо, що всі властивості механізмів можна умовно розділити на дві групи: 1) ті, які змінюються в процесі виконання механізмом своєї функції, що полягає у перетворенні механічного руху; 2) ті, які не змінюються при роботі механізму (не беручи до уваги механізми зі змінною структурою, коли протягом одного періоду роль вхідної виконують різні ланки). Далі ми будемо розглядати плоскі важільні механізми як такі, що досить часто зустрічаються в технологічних та транспортних машинах.

До першої групи властивостей відносяться кінематичні, силові та енергетичні характеристики [1]. До другої групи відносяться структурні елементи, з яких складаються механізми (ланки, кінематичні пари, структурні групи, механізми *I* класу). Очевидно, що кількість цих структурних елементів в процесі роботи механізму залишається незмінною, так як і ступінь рухомості механізму, яка визначається кількістю рухомих ланок та кількістю кінематичних пар кожного класу в механізмі [1]. Зв'язки між цими структурними елементами (рухомі з'єднання), їх кількість та класифікація також залишаються сталими. Таким чином, структура механізму та його структурні складові, як сталі об'єкти, можуть бути описані з допомогою такої дискретної структури, як граф [2].

В деяких попередніх роботах авторами було досліджено графи плоских важільних механізмів з однією вхідною ланкою та графи структурних одиниць – кінематичних пар та структурних груп (груп Ассура), було розглянуто детальний та більш компактний види цих графів [3 – 5]. Але також важливим є розгляд графів механізмів з кількома вхідними ланками (кількома механізмами першого класу). Такі механізми нерідко зустрічаються у складних механічних системах, де необхідно забезпечити узгоджений рух багатьох ланок при неможливості підвести всю необхідну кінетичну енергію від одного джерела до однієї вхідної ланки (або це є недоцільним з конструктивних або економічних міркувань). В даній роботі запропоновано розгляд графів плоских важільних механізмів із двома механізмами *I* класу та обґрунтовано варіант їх зображення.

Зображуючи механізми у вигляді графів [3], було запропоновано структурні групи представляти у вигляді вершин, а кінематичні пари, утворені ланками різних структурних груп, або утворені ланками структурних груп та ланками механізму *I* класу, або утворені ланками структурних груп та нерухомою ланкою, представляти у вигляді ребер. Більш складна картина має місце, якщо до складу механізму входить більш, ніж один механізм *I* класу. Наприклад, на рис.1,*а* зображено двоповзунковий механізм, який складається зі стояка *0* та чотирьох рухомих ланок *1, 2, 3* та *4*. Очевидно, що ступінь рухомості даного механізму буде дорівнювати: $W = 0$. Вхідними ланками, на які подається рух для перетворення, будуть ланки *1* та *4*. Ці ланки утворюють зі стояком два механізми *I* класу, а ланки *2* та *3* – структурну групу *II* класу.

Розглянемо, що буде представляти собою граф даного механізму. Перший варіант графу представлено на рис.1,б. Вершиною *II* показано структурну групу *II* класу, а вершинами *I* – обидва механізми *I* класу. Штриховою лінією показано спільну нерухому ланку, яка належить обом механізмам *I* класу. Але тут ми допускаємо протиріччя, оскільки в даному випадку штрихова лінія показує не рухоме з'єднання, а, навпаки, відсутність такого – нерухому ланку, яка належить обом механізмам *I* класу. Другий варіант графу, коли обидва механізми *I* класу показано однією вершиною (рис.1,*в*), усуває протиріччя, яке виникає при зображення ланки у вигляді ребра, але «ховає» вхідні ланки, які належать різним механізмам *I* класу, хоча обидві кінематичні пари *A* і *C*, утворені структурною групою, представлені на графі.

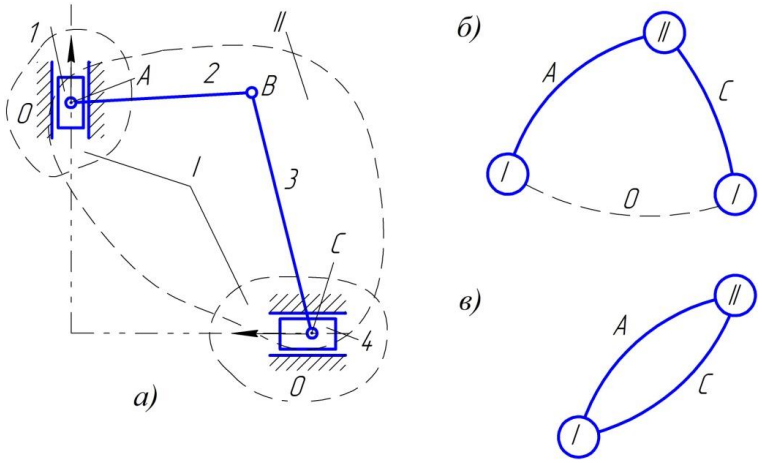


Рис.1. Двопозунковий механізм з двома механізмами *I* класу та його можливі графи

Розглянемо інший приклад. На рис.2,*а* зображено плоский багатоланковий важільний механізм, до складу якого входить два механізми *I* класу, утворені ланками *0-1* та *0-8*. Рухомих ланок *8*, кількість кінематичних пар *V* класу – *11*, відповідно, ступінь рухомості даного механізму буде дорівнювати: $W = 2$. На рис.2,*б* запропоновано граф механізму, побудований відповідно до тих же міркувань, які були використані при побудові графу на рис.1,*б*. Як видно, структурна група *II* класу приєднується до нерухомої ланки в кінематичній парі O_3, але структурний об'єкт (нерухома ланка) при цьому зображується не вершиною, як це повинно бути, а, відповідно прийнятих позначень, штриховою лінією. При цьому місце з'єднання структурної групи та нерухомої ланки (точка *N*) залишається невизначеним. Якщо звести два механізми *I* класу в одну вершину (рис.2,*в*), ми позбавляємося вищевказаного зображення нерухомої ланки, як структурного об'єкту у вигляді штрихової лінії, але оскільки нерухома ланка явно не присутня на графі, одна структурна група *II* залишається зв'язаною з іншими ланками тільки однією кінематичною парою. Інша кінематична пара, утворена ланкою структурної групи та стояком, залишається не зображеною.

Недоліки представлення графів на рис.2,*б* та 2,*в* можна позбутися, якщо запропонувати спосіб зображення графу механізму, представлений на рис.2,*г*. На ньому окремо у вигляді вершин зображено: нерухома ланка (вершина *0*) та вхідні ланки, які утворюють з нерухомою ланкою механізми *I* класу (вершини *1* та *8*). Ребрами O_1 та O_4 показано кінематичні пари, які у входять до складу механізмів *I* класу (). Причому вхідні ланки позначені арабськими цифрами, а структурні групи – римськими, що дає можливість візуально на графу відрізняти структурні групи від механізмів *I* класу. На наш погляд, запропонований варіант дає абсолютно ясне та однозначне уявлення про структуру даного механізму, оскільки зображує всі структурні елементи – механізми *I* класу (складаються із показаних нерухомої та вхідних ланок), структурні групи та кінематичні пари між структурними елементами.

Далі зупинимося на деяких властивостях таких графів. Очевидно, що у плоских механізмів, призначених для перетворення деякого механічного руху вхідних ланок у визначений рух іншої (вихідної) ланки, остання повинна бути кінематично зв'язана зі стояком (частіше) або з рухомою ланкою структурної групи. Крім того, всі ланки структурних групи (повідки), також кінематико з'єднуються зі стояком та (або) ланками інших структурних груп. Таким чином, можна зробити

висновок, що всі геометричні контури таких графів повинні бути замкненими, наприклад, контури *0-1-II, 0-II-II, 0-II-II-II-8* та інші (див. рис.2,*г*).

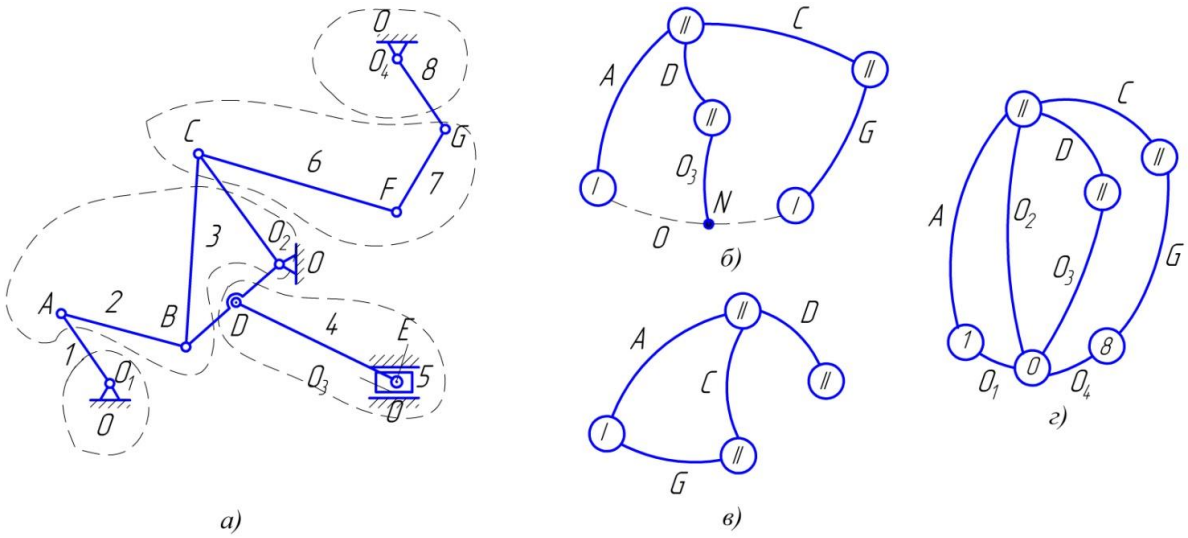


Рис.2. Багатоланковий плоский механізм з двома механізмами *I* класу та його можливі графи

Далі розглянемо інцидентність, суміжність та кратність. Як відомо, якщо ребро закінчується вершиною, то такі ребро та вершина називаються інцидентними. Суміжними є вершини, які з'єднуються між собою ребром. Суміжність на рис.2,*г* спостерігається в межах кожного замкненого контуру, і якщо для контурів O_1-*A*- O_2 та O_2-*D*- O_3, які мають тільки по три вершини, картина є зрозумілою, то для контуру O_3-*D*-*C*-*G*-O_4 необхідним є уточнити, що суміжними будуть не всі вершини, а тільки ті, які позначають структурні одиниці, що з'єднуються між собою в кінематичних парах. Наприклад, в геометричному контурі O_3-*D*-*C*-*G*-O_4 вершина *II*, в яку входять ребра *C* і *D*, ніяким чином не може буди зв'язана з вершинами *0* та *8*, оскільки дана структурна група *II* класу зв'язана тільки з іншими структурними групами *II* і *II*. Таким чином, для графів механізмів, до складу яких входять тільки структурні групи *II* класу, можна зробити наступне узагальнення: вершина графу, яка позначає структурну групу *II* класу, є суміжною тільки з двома сусідніми вершинами в межах локального геометричного контуру.

Як відомо, кратними називають вершини, які зв'язані з іншими вершинами двома та більше ребрами. Якщо одне ребро означає наявність кінематичної пари між структурними одиницями, то на графах важільних механізмів *II* класу апріорі завжди будуть відсутні кратні вершини, оскільки і нерухома ланка, і вхідна рухома ланка, і структурна група повинна приєднуватись мінімум до двох, але різних ланок. Якщо кількість ребер відповідає кількості можливих рухів однієї ланки відносно іншої в кінематичні парі, то граф механізму може містити кратні вершини, коли ланки структурної групи утворюють з іншими ланками механізму кінематичні пари класу нижче п'ятого. Це такі кінематичні пари: зубчаста передача, «кулачок-штовхач», циліндрична, сферичний шарнір, сферичний шарнір з пальцем. Для кінематичних пар *V* класу, де має місце тільки один відносний рух ланок, кратні вершини не будуть спостерігатись, оскільки така кінематична пара обумовлює тільки один відносний (обертальний чи поступальний) рух ланок. Оскільки на графі показано всі структурні групи *II* класу, які складаються з двох рухомих ланок, всі вхідні рухомі ланки, які утворюють зі стояком механізми *I* класу, та всі (явно або неявно) кінематичні пари, з графу можна визначити ступінь рухомості механізму (нагадаємо, що дві ланки кожної структурної групи *II* класу утворюють між собою кінематичну пару *V* класу):

$$W = 3 \cdot (N_I + 2N_{II}) - 2 \cdot (N_{II} + R), \qquad (1)$$

де N_I – кількість вхідних ланок;
N_{II} – кількість структурних груп *II* класу;
R – кількість ребер.

Наприклад, для графу даного механізму (див. рис.2,*г*): $N_I = 2$; $N_{II} = 3$; $R = 8$. Після підстановки в формулу (1) отримуємо: $W = 2$.

Назвемо *елементарним* такий замкнений геометричний контур на графі механізму, який утворений структурною групою *II* класу і не містить інших, більш простих геометричних контурів. Розглядаючи кількість елементарних контурів, можна припустити, що кількість їх буде дорівнювати кількості структурних груп *II* класу.

Висновки.

1. Розглянуто варіанти зображення графів плоских важільних механізмів *II* класу з двома механізмами *I* класу та запропоновано оптимальний, на думку авторів, варіант, який дає максимум інформації про нерухому ланку, механізми *I* класу, структурні групи *II* класу та кінематичні пари *V* класу, утворені ланками структурних одиниць.

2. Розглянуто наявність суміжних вершин та встановлено їх відсутність для графів механізмів даного класу, запропоновано формулу ступені рухомості механізму по його графу.

Список використаних джерел

1. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин. – К.: Наукова думка. – 2002. – 661 с.

2. Теорія графів. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерний моніторинг та геометричне моделювання процесів і систем» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»/ І.М. Кузьменко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,7 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 71 с. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35854/1/Teoriia_hrafiv.pdf

3. Шостачук А.М. Графи плоских важільних механізмів. Науковий пошук молодих дослідників: збірник наукових праць студентів, магістрантів та викладачів / за заг. ред. Карплюк С.О., Вербівського Д.С., Єрємєєвої В.М., Бенедисюк М.М., Толстової О.В. – Житомир : Вид-во ЖДУ імені І. Франка, 2019. – Вип. 12. С.99-102.

4. Мельничук С.В., Шостачук А.М. Графи структурних груп (груп Ассура) II та III класів плоских важільних механізмів. Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент», 6–9 листопада 2019 року.−Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. С. 152–155.

5. А. Шостачук, С. Мельничук, Б. Ємець. Графи плоских важільних механізмів з кількома вхідними ланками. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту», 22-24 листопада 2023 року. – Кропивницький: Центральноукраїнський національний технічний університет, 2023. С. 218-220.

Шостачук Андрій Миколайович **–** к.т.н., доцент, викладач кафедри загальнотехнічних дисциплін, Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир, e-mail: vbnauka@i.ua

Ємець Богдан Володимиович **–** к.т.н., доцент, викладач кафедри автомобільного транспорту, Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир, e-mail: Bogdan1199@ukr.net

Рябчук Олександр Павлович **–** к.с.-г.н., доцент, завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін, Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир, e-mail: opryabchuk@ukr.net

Shostachuk Andrii M. – PhD (Eng.), Associate Professor, Lecturer of the Department of general technical disciplines, Zhytomir Agricultural Tecnical Professional College, Zhytomir, e-mail: vbnauka@i.ua

Yemets Bohdan V.– PhD (Eng.), Associate Professor, Lecturer of the Department of Automobile Transport, Zhytomir Agricultural Tecnical Professional College, Zhytomir, e-mail: Bogdan1199&ukr.net

Ryabchuk Alexander P. – PhD (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of general technical disciplines Zhytomir Agricultural Tecnical Professional College, Zhytomir, e-mail: opryabchuk@ukr.net

UDK 656.13

N. Shramenko

GREEN LOGISTICS DEVELOPMENT: A DECISION-MAKING MODEL FOR URBAN DELIVERY TECHNOLOGY

A decision-making model has been developed to determine the potential of cargo bikes for transporting small shipments of goods in urban and suburban areas. The simulation model takes into account stochastic product demand, the random number and location of customers, the random distribution and number of vehicles, as well as the risk that the required quantity of goods may not be available at the nearest loading point.

Keywords: *electric cargo bikes, greenhouse gases, delivery routes, last mile, optimization, small consignment of goods, simulation model.*

Under the current socio-ecological transformations and prevailing market trends, special attention should be paid to the development of more environmentally friendly and sustainable supply chains, as well as to the use of clean modes of transport [1]. The steadily increasing demand for urban delivery services and freight flows intensifies conflicts over the use of road space, particularly in urban areas. Urban traffic is becoming an increasingly serious challenge due to congestion, noise, and harmful emissions into the atmosphere. Road transport accounts for the largest share of these emissions [2].

Statistical data indicate that nearly half of all urban trips are related to freight transportation, with approximately one third involving the movement of light goods [3]. Under such conditions, the use of cargo bikes is gaining growing importance, serving as an effective alternative for optimizing last-mile delivery and reducing the number of freight vehicles powered by internal combustion engines in urban environments.

The results of the analysis show that approximately 53% of the total delivery costs are attributed to the last-mile stage [4]. Traffic congestion and network overload lead to reduced average vehicle speeds and increased delivery times. According to studies conducted by the company Omniva, in central urban areas, the Vok Bike cargo bicycle performs deliveries 20% faster than cars on comparable routes with similar delivery volumes [5]. Other research confirms that the time advantage of cargo bikes can reach up to 60% [6]. This time efficiency is a significant factor of operational performance, as it enables more rational use of resources—both vehicles and personnel.

To create a comfortable, safe, and environmentally balanced urban environment, it is essential to implement sustainable and eco-friendly transport and logistics solutions. Major international logistics companies are actively testing and deploying cargo bicycles as a fast, cost-efficient, and environmentally friendly mode of transport in urban areas [7]. In densely populated cities, electric cargo bikes are increasingly replacing vans and cars for the delivery of goods such as food and parcels. However, this sustainable form of urban logistics requires the development of appropriate urban infrastructure, particularly the establishment of micro-hubs and a network of charging stations within city areas.

On the other hand, the modern urban distribution system is characterized by a dynamic environment, which creates challenges in forming optimal supply chains. Therefore, special attention should be given to modeling the delivery process under dynamic conditions. The analysis of simulation results enables the justification of optimal decisions at the route planning stage.

To optimize and support real-time planning of urban distribution system operations, a simulation model of the cargo delivery process within the city has been developed. The model takes into account predefined constraints on time, distance, and available resources (vehicles and personnel). The study compared various logistics scenarios for delivering goods to customers, with simulations conducted under conditions involving different types of transport vehicles (cargo e-bikes and cars).

The proposed model supports informed decision-making in selecting the optimal logistics scenario and the most suitable type of transport vehicle under stochastic demand conditions. It can be applied by transport, logistics, manufacturing, and retail companies for operational planning and delivery route optimization. Furthermore, it enables comparative analysis of the logistics system's efficiency when using vehicles of different types and load capacities, considering delivery costs, environmental impact, and delivery time.

List of references

1. Shramenko, N., Hupfer, C.: Sustainable mobility: Changing mindsets and rethinking paradigms. In: Isak Karabegović, et al. (eds) New Technologies, Development and Application VI. NT 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 687. Springer, Cham, pp. 712-721 (2023). https://doi.org/10.1007/978-3-031-31066-9_83

2. Europäisches Parlament. Senkung der Emissionen: Neue CO_2-Ziele für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge.
https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20180920STO14027/senkung-der-emissionen-neue-co2-ziele-fur-pkw-und-leichte-nutzfahrzeuge, last accessed 2025/06/05.

3. Lastenfahrrad – ideal für Transporte im Nahbereich. https://www.ihk-muenchen.de/de/Service/Verkehr/mobilitaetsmanagement/Lastenr%C3%A4der-im-Wirtschaftsverkehr/, last accessed 2025/06/12.

4. Statista. https://www.statista.com

5. E-cargo bike is faster than a car. https://vokbikes.com/articles/cost-comparison-ecargo-bike-vs-car/, last accessed 2025/06/15.

6. Cargo bikes deliver faster and cleaner than vans, study finds. https://www.theguardian.com/world/2021/aug/05/cargo-bikes-deliver-faster-and-cleaner-than-vans-study-finds, last accessed 2025/06/10.

7. European Mobility Atlas 2021: Zahlen und Fakten zu Verkehr und Mobilität in Europa https://www.experi-forschung.de/european-mobility-atlas-2021-zahlen-und-fakten-zu-verkehr-und-mobilitaet-in-europa/

Shramenko Natalya **–** Dr. Sc. techn. (KhNAHU), Professor (Ukr), research fellow, Baden-Württemberg Institute of Sustainable Mobility, Karlsruhe University of Applied Sciences, Karlsruhe, e-mail: natalya.shramenko@bw-im.de.

Шраменко Наталя Юріївна **–** д.т.н., професор, науковий співробітник Баден-Вютембергського інституту сталої мобільності, Університет прикладних наук Карлсруе, м. Карлсруе, e-mail: natalya.shramenko@bw-im.de.

УДК 656.072

В.П. Шумляківський, О.О. Багінський, О.А. Левківський, А.Г. Грищук

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОБУСНОГО МАРШРУТУ №19А МІСТА ЖИТОМИР

Визначено та проведено оцінку техніко-експлуатаційних показників автобусного маршруту 19А міста Житомир. За результатами обстеження пасажиропотоків визначено попит населення на пасажирські перевезення відповідним маршрутом. Визначено, що обраний рухомий склад задовольняє попит на переміщення в пікові години, однак для роботи в між пікові години надані пропозиції щодо зміни рухомого складу, що працює на маршрутах або зміни інтервалів руху у між пікові години.

Ключові слова: *пасажирські перевезення, міський пасажирський транспорт, автобуси, транспортна робота.*

The technical and operational indicators of bus route 19A in the city of Zhytomyr were determined and assessed. Based on the results of the passenger flow survey, the population's demand for passenger transportation on the relevant route was determined. It was determined that the selected rolling stock meets the demand for movement during peak hours, however, for operation during off-peak hours, proposals were made to change the rolling stock operating on the routes or change the intervals of movement during off-peak hours.

Keywords: *passenger transportation, urban passenger transport, buses, transport work.*

Автобусний маршрут №19А був введений в дію в травня 2022 року з метою покращення сполучення між районами Богунія, Гідропарк та вул. Чуднівська. Як видно зі схеми маршруту (рис. 1) він є відгалуженням автобусного маршруту №19 який з'єднує Промислову зону з центром міста та мікрорайоном Богунія. Автобусний маршрут №19А має протяжність в 24 кілометри в кожному напрямку, для його обслуговування використовується 6 автобусів Ataman A092H6 пасажиромісткістю 49 пасажирів що забезпечує інтервал руху 15-20 хвилин.

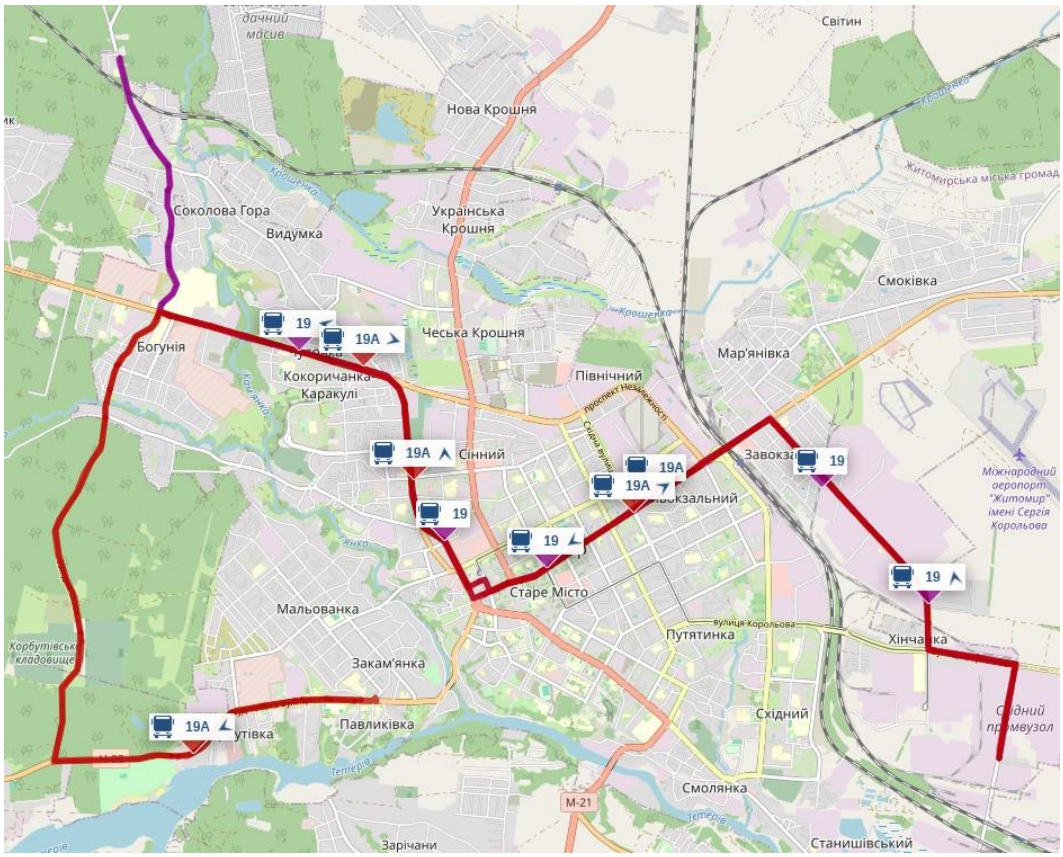


Рисунок 1 – Схема маршруту 19А

Підготовка та проведення обстеження пасажиропотоків проводяться згідно Порядку організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом. Відповідно до Порядку організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом обстеження пасажиропотоків здійснюється комплексно - на всіх міських, приміських та міжміських автобусних маршрутах загального користування не менше ніж один раз на три роки [1].

Обстеження пасажиропотоків здійснювалось вибірково з використанням табличного методу. Табличний метод застосовується для обстеження пасажиропотоків на найбільш завантажених маршрутах, де визначається кількість пасажирів, які на зупинках ввійшли до автобуса та вийшли з нього.

В результаті обстежень були отриманні данні пасажирообігу як в пікові, так і в між пікові години.

На основі даних обстежень пасажиропотоків розраховуються основні техніко-експлуатаційні показники роботи автобусів:

- час оберту;
- швидкість руху;
- обсяг перевезень;
- транспортну роботу;
- середній коефіцієнт заповнення салону транспортного засобу;
- середню відстань поїздки пасажира;
- коефіцієнт змінюваності пасажирів за рейс [2].

Результати виконаних розрахунків техніко-експлуатаційних показників роботи автобусів на маршруті №19А наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Техніко-експлуатаційні показники роботи автобусів на маршруті №19А

Показник		Максимальне значення	Пік	Міжпік
1	Час оберту, хв.	-	131	129
2	Швидкість руху, км/год	-	20,8	21,7
3	Обсяг перевезень, пас.	57	49,3	34,25
4	Транспортна робота, пас.км.	285	234	205
5	Середній коефіцієнт заповнення салону транспортного засобу, %	25,31	22,35	13,51
6	Середня відстань поїздки пасажира, км.	6,47	4,27	5,1
7	Коефіцієнт змінюваності пасажирів за рейс	5,47	4,62	4,9

Отримані в результаті дослідження данні були використані для визначення техніко-експлуатаційних показників роботи автобусів на автобусному маршруті №19А. Провівши аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи автобусів виділяється те що коефіцієнт заповнення салону транспортного засобу є низьким навіть в години пік. Враховуючі отриманні дані раціональніше було б використовувати автобуси меншої пасажиромісткості.

Список використаних джерел

1. Порядок організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом від 31 липня 2013 р. за № 1282/23814. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1282-13#top.

2. Чуйко С.П., Шумляківський В.П. Основні параметри і предмет розвитку маршрутної мережі автобусних міських перевезень. Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Серія: Технічні науки. Том 33 (72) № 5 2022. С. 337-342.

Шумляківський Володимир Петрович **–** к.т.н., доцент кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: shumliakivskyiv@ztu.edu.ua

Багінський Олександр Олександрович – старший викладач кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: katt_boo@ztu.edu.ua

Левківський Олександр Анатолійович – старший викладач кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: amts_loa@ztu.edu.ua

Грищук Аркадій Геннадійович – студент, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: aag25_gag@student.ztu.edu.ua

Shumliakivskyi Volodymyr Petrovych – Associate Professor of the Department of mechanical engineering and road transport, Zhytomyr Polytechnic

Bahinskyi Oleksandr Oleksandrovych – Senior Lecturer, Department of mechanical engineering and road transport, Zhytomyr Polytechnic

Levkivskyi Oleksandr Anatoliyovych – Senior Lecturer, Department of mechanical engineering and road transport, Zhytomyr Polytechnic

Hryshchuk Arkadii Gennadievich – student, Zhytomyr Polytechnic

Електронне наукове видання

МАТЕРІАЛИ
XVIII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ»
20 – 22 жовтня 2025 року

Матеріали подаються в авторській редакції

Комп'ютерне оформлення: Є. В. Смирнов

Підписано до видання 10.11.2025 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам № Р2025-172

Видавець та виготовлювач –
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.
press.vntu.edu.ua,
Email: rvv@vntu.edu.ua.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.



ВИБРАНА БІБЛІОГРАФІЯ

К.Ф. Абрамек, В.О. Балицька, В.О. Колесніков Сучасні матеріали для конструкцій водневих та гібридних транспортних засобів // Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 14–18.

Список використаних джерел

ORLEN’s second hydrogen refuelling station becomes available to general public in Poland // ORLEN. – 23 грудня 2024. – URL: https://www.orlen.pl/en/about-the-company/media/press-releases/current/2024/December-2024/orlens-second-hydrogen-refuelling-station-becomes-available-to-general-public-in-poland

Polish Hydrogen Strategy: draft presentation. Європейська комісія. URL: https://energy.ec.europa.eu/document/download/e63cb8ff-2a56-4f0b-98f6-59b4e15cf3f7_en?filename=8_-_polish_hydrogen_strategy_draft_presentation.pdf (дата звернення 5.10.2025).

Poland: ORLEN opens a hydrogen station in Poznań / FuelCellsWorks. URL: https://fuelcellsworks.com/news/poland-orlen-opens-a-hydrogen-station-in-poznan-2?utm_source

Polish state energy giant ORLEN opens first public hydrogen refuelling station // Notes from Poland. URL: https://notesfrompoland.com/2024/06/29/polish-state-energy-giant-orlen-opens-first-public-hydrogen-refueling-station/

ORLEN to build hydrogen refuelling stations in more Polish cities. ORLEN. URL: https://www.orlen.pl/en/about-the-company/media/press-releases/archive/2022/september-2022/ORLEN-to-build-hydrogen-refuelling-stations-in-more-Polish-cities

Polish group receives millions to expand hydrogen projects // Power Magazine. URL: https://www.powermag.com/polish-group-receives-millions-to-expand-hydrogen-projects/

Віра Касіян. У Польщі запустять у серію водневі локомотиви для неелектрифікованих ліній: фото, відео. URL: https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/u-polshchi-zapustiat-v-seriiu-vodnevi-lokomotyvy-dlia-neelektryfikovanykh-liniy-foto-video

Водневі автобуси в Польщі: перспективно, дорого і складно — CFTS. URL: https://cfts.org.ua/articles/vodnevi_avtobusi_v_polschi_perspektivno_dorogo_i_skladno_2031/140906

Hafiz Muzammil Irshad, Samaneh Shahgaldi, Comprehensive review of bipolar plates for proton exchange membrane fuel cells with a focus on materials, processing methods and characteristics, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 111, 2025, pp. 462-487, ISSN 0360-3199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2025.02.300

Cahyani Windarto, Uttam Kumar Chanda, Ocktaeck Lim. A review of materials and surface processing for bipolar plates in polymer electrolyte membrane fuel cells. International Journal of

Hydrogen Energy, Vol. 92, 2024, pp. 419–433. ISSN 0360-3199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.10.274

Wenkai L, Zhiyong X, Haodong Z. Current status of research on composite bipolar plates for proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs): nanofillers and structure optimization. RSC Adv. 2024 Feb 28;14(10):7172-7194. doi: 10.1039/d3ra08054d. PMID: 38419679; PMCID: PMC10900183

Mo, S., Du, L., Huang, Z. et al. Recent Advances on PEM Fuel Cells: From Key Materials to Membrane Electrode Assembly. Electrochem. Energy Rev. 6, 28 (2023). https://doi.org/10.1007/s41918-023-00190-w

Ćwiek, Janusz, and Łukasz Wierzbicki. "The role of lightweight materials in modern transport vehicles". Diagnostyka 23 no. 4 (2022): 2022405. doi:10.29354/diag/155850

Sun, B., Lu, W., Ding, R., Makineni, S. K., Gault, B., Wu, C.-H., Wan, D., Chen, H., Ponge, D., Raabe, D. Chemical heterogeneity enhances hydrogen resistance in high-strength steels. Nature Materials (Condensed Matter > Materials Science). Preprint: arXiv:2308.16048. DOI: 10.1038/s41563-021-01050-y

Абрамек К. Ф., Балицький О., Колесніков В. Сучасні конструкційні матеріали в гібридних та водневих автомобілях // Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Полтава, 20–21 березня 2025 р.). Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2025. С. 280–287.

Balitskii A. Kompendium wodorowe. H_2 Szczecin. Wodór napędem regionu. Przemysl Chemiczny, 103(1), 2024, s.9-11. https://www.sigma-not.pl/publikacja-146967-h2-szczecin.-wod%C3%B3r-nap%C4%99dem-regionu-przemysl-chemiczny-2024-1.html

H_2Szczecin scientific and technical conference: Hydrogen as the driving force of the region, November 30, 2022, Szczecin, Poland. https://h2szczecin.pl/

Balitskii Alexander. III Ogólnopolska Konferencja „H2Szczecin. Wodór napędem regionu". Przemysl Chemiczny, 104(3), 2025, s.10-13. Balitskii Alexander. III Nationwide scientific and technical conference "H2Szczecin, Hydrogen as the driving force of the region". Przemysl Chemiczny, 104(3), 2025, s.10-13. https://przemyslchemiczny.com/przemysl-chemiczny-3-2025/

Osipowicz, T.; Koniuszy, A.; Taustyka, V.; Abramek, K.F.; Mozga, Ł. Evaluation of Ecological Parameters of a Compression Ignition Engine Fueled by Diesel Oil with an Eco Fuel Shot Liquid Catalyst. Catalysts 2023, 13, 1513. https://doi.org/10.3390/catal13121513

Wawrzyniec Głębiewski, Tomasz Osipowicz, Karol Franciszek Abramek, Wojciech Lewicki and Dominik Gałdyński, Vol. 2024 (4) "Product Innovations in Hybrid Electric Vehicle Vehicles: Comparative Study of Carbon Dioxide Emissions and Operational Parameters of Selected Passenger Cars" Communications of International Proceedings, Vol. 2024 (4), Article ID 4341024, https://doi.org/10.5171/2024.4341024

Osipowicz, T.; Koniuszy, A.; Taustyka, V.; Abramek, K.F.; Mozga, Ł. Evaluation of Ecological Parameters of a Compression Ignition Engine Fueled by Diesel Oil with an Eco Fuel Shot Liquid Catalyst. Catalysts 2023, 13, 1513. https://doi.org/10.3390/catal13121513

W. Golebiewski, K. Prajwowski, K. Danilecki, M. Lisowski and K. F. Abramek, "Reducing the Fuel Consumption of an Hybrid Electric Vehicle With the Use of Model Predictive Control-Case

Study," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 72, no. 9, pp. 11458-11468, Sept. 2023, https://ieeexplore.ieee.org/document/10102300

Karol Franciszek Abramek, Wawrzyniec Gołębiewski, Tomasz Osipowicz, Wojciech Lewicki and Oleh Klyus, Vol. 2023 (6) “Green Transformation of Transport on The Example of Emission Assessment of Carbon Dioxide (CO^2) Emissions in Electric and Combustion Engine Vehicles During Operation" Communications of International. Proceedings, Vol. 2023 (6), Article ID 4238723, https://doi.org/10.5171/2023.4238723

Балицький О.І., Колесніков В.О., Іщенко Б.М. Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 23–30.

Ставицький О. В., Стадник Л. Г., Колесніков В. О. Концепція автомобіля майбутнього // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 181 - 189.

Колеснікова Є. Б., Колесніков В. О. Технологічні тенденції та дизайн в автомобілебудуванні // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. наук.-практ. конф., 14–15 квіт. 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 190–203.

Прохорова Т. В., Перчемлі І. Ф., Колесніков В. О. Матеріали та технології в автомобільній промисловості // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали V-ї міжнар. наук.-практ. конф. (13–14 квіт. 2017 р., Вінниця). Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 105–112.

Татарінов В.Р., Бердус А.Ю., Кравцов О.В., Колесніков В.О. Сучасні матеріали для автомобілебудування // Матеріали регіональної науково-практичної конференції професійна освіта на Луганщині: теорія та практика 15–17 квітня 2014 року. м. Луганськ. - С. 218 - 223.

Рулевська Т. Ф., Єльбакієв Д. Г., Колесніков В. О. Перспективи «водневих» автомобілів // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 168 – 172.

Абрамек К. Ф., Балицький О. І., Колесніков В. О. Сучасні конструкційні матеріали в водневих та гібридних транспортних засобах // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15–17 квітня 2025 року: зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 23–28.

Колесніков В.О. Впровадження водневих технологій на транспорті та суміжних галузях // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції, 23–25 жовтня 2023 р., м. Вінниця. – Вінниця, 2023. – С. 179–181.

Балицький О.І., Колесніков В.О., Еліаш Я. Дослідження руйнування ненаводнених та наводнених сплавів в умовах тертя кочення // Проблеми тертя та зношування № 58, 2012. С. 32–37.

Балицький О.І., Еліаш Я., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Мочульський В.М., Гребенюк С.О., Глюзицький О.О. Дослідження матеріалів для розробки гібридних автомобілів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 28-38.

Балицький О. І., Душар І. Я., Колесніков В. О., Мельніков С. Д. Водневостійка сталь. Патент 47554 на корисну модель України, МПК С22 С38/50. Заявка № u 2009 08857; Заявлено 25.08.2009. Опубліковано 10.02.2010. Бюл. № 3, 2010. 4 с.

Balitskii, A.I.; Kolesnikov, V.O.; Havrilyuk, M.R.; Balitska, V.O.; Ripey, I.V.; Królikowski, M.A.; Pudlo, T.K. Steel Hydrogen-Induced Degradation Diagnostics for Turbo Aggregated Rotor Shaft Repair Technologies. Energies 2025, 18, 4368. https://doi.org/10.3390/en1816436

Смирнов Є.В. Перспективи використання гібридних автомобілів на водневих паливних елементах. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн.науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. – 316 - 318.

В.О. Балицька, О.І. Балицький, В.О. Колесніков. Стійкість конструкційних матеріалів пожежних автомобілів до експлуатаційних навантажень та впливу поверхнево активних середовищ // Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. С.43–46.

Список використаних джерел

Попович В.В., Ренкас А.Г. Пожежні автомобілі (Частина 1). – Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2011. - 100 с.

Пожежні машини: навч. посіб. / О.М. Ларін, В.Г. Баркалов, С.А. Виноградов, А.Я. Калиновський, О.М. Семків. – Х.: НУЦЗУ, КП "Міська друкарня", 2016. – 279 с.

Лаврівський М.З. (Львівський ДУ БЖД) Тенденції розвитку автомобілів для ліквідації надзвичайних ситуацій. Збірник науково-технічних праць. Національний лісотехнічний університет України. С. 104 -109. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2009/19_2/104_Lawriwskyj_19_2.pdf

Балицька В., Балицький О., Колесніков В. Експлуатаційна довговічність конструкційних матеріалів пожежних автомобілів // Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Полтава, 20–21 березня 2025 р.). Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2025. С. 294–299.

Roszkos C., Bocko J., Kula T. Fatigue Analysis of a Fire Truck Drop Tow Hitch for an O1 Category Water Pump Trailer. American Journal of Mechanical Engineering. 2016; 4(7):312-319. doi: 10.12691/ajme-4-7-15.

Bagnoli, F., Dolce, F., & Bernabei, M. (2009). Thermal fatigue cracks of fire fighting vehicles gray iron brake discs. Engineering Failure Analysis, 16(1), 152–163. ISSN 1350-6307. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.01.009

Un, C.; Aydın, K. Modernization of Fire Vehicles with New Technologies and Chemicals. Vehicles 2023, 5, 682-697. https://doi.org/10.3390/vehicles5020037

Validus Special Auto. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vsauto.com.ua (дата звернення 07.10.2025).

Silva, F.; Raposo, J.; Farinha, J.T.; Raposo, H.; Reis, L. Study of the Condition of Forest Fire Fighting Vehicles. Fire 2023, 6, 274. https://doi.org/10.3390/fire6070274

Jankauskas, V.; Žunda, A.; Katinas, A.; Tučkutė, S. Wear Study of Bulk Cargo Vehicle Body Materials Used to Transport Dolomite. Coatings 2025, 15, 227. https://doi.org/10.3390/coatings15020227

Firefighting equipment: The recent trends. URL: https://www.isrmag.com/firefighting-equipment-the-recent-trends/

The Future of Firefighting: Technologies Transforming Industrial Fire Safety. URL: https://firepreventionindia.com/the-future-of-firefighting-technologies-transforming-industrial-fire-safety/

Australasian Fire and Emergency Service Authorities Council. People in Vehicles During Bushfires (AFAC Publication No. 3008); AFAC: Melbourne, Australia, 2018.

Гуліда Е.М., Сабіров Є.М. Надійність багатофункціональної пожежної техніки. Пожежна безпека №5, 2004, С. 31-35.

Технічні вимоги. Пожежні автомобілі для пожежогасіння та проведення рятувальних робітURL: https://dsns.gov.ua/upload/1/1/9/9/2/2021-5-1-3-texnicni-vimogi.pdf

Жуков В.В., Колесніков В.О., Балицька В.О. Аварійно-рятувальні автомобілі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 110–113.

Еліаш Я. Балицький О., Гаврилюк М., Колесніков В., Балицька В. Екологічно чисті змащувально-охолоджуючі рідини на базі рослинних олій // Монографія “Проблеми хімотології та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів” / За заг. ред. С.Бойченка – Центр учбової літератури. Київ, 2017. – С. 418-422.

Balitskii A., Hawrilyuk M., Eliasz J., Balitska W., Kolesnikow W. Oddziaływanie wodoru na kształtowanie i odprowadzenie wiórów w obróbce skrawaniem stali wysokostopowych z użyciem ekologicznych cieczy smarująco-chłodzących // Obrobka skrawaniem – 10. – Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Jana Burka // X Szkola Obrobki Skrawaniem, Rzeszow-Lancut, 2016. – S. 447-452.

Balitskii A., Hawrilyuk M., Eliasz J., Balitska W., Kolesnikow W. Oddziaływanie wodoru na kształtowanie i odprowadzenie wiórów w obróbce skrawaniem stali wysokostopowych z użyciem ekologicznych cieczy smarująco-chłodzących // Mechanik. – 2016. – N 10. – S. 1412-1413. http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2016.10.387.

Прохорова Т. В., Перчемлі І. Ф., Колесніков В. О. Матеріали та технології в автомобільній промисловості // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали V-ї міжнар. наук.-практ. конф. (13–14 квіт. 2017 р., Вінниця). Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 105–112.

Балицький Олександр, Балицька Валентина, Колесніков Валерій, Еліаш Яцек. Застосування комплексного підходу для оцінки якості стану матеріалу деталей та вузлів в енергомашинобудуванні та транспортних галузях для підвищення безпеки життєдіяльності. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: III Міжн. науково-практичн. конф., 20-21.03.2023 року: матеріали. Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. С. 371-373.

Татарінов В.Р., Бердус А.Ю., Кравцов О.В., Колесніков В.О. Сучасні матеріали для автомобілебудування // Матеріали регіональної науково-практичної конференції професійна освіта на Луганщині: теорія та практика 15–17 квітня 2014 року. м. Луганськ. - С. 218 - 223.

О.І. Балицький, В.О. Колесніков, М.Р. Гаврилюк, Л.М. Іваськевич, В.О. Балицька. Фрактографічні дослідження частинок зношування високоазотних хромомарганцевих сталей як індикаторів руйнування в транспортній та енергомашинобудівних галузях. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С.53-54.

Н.О. Бикадорова, В.О. Колесніков, В.В. Бурдун, В.О. Балицька. Застосування комп'ютерного моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 60-62.

Балицький О.І., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Гаврилюк М.Р., Балицька В.О. Ідентифікація пошкоджень на поверхнях виробів енергомашинобудування. «Актуальні питання експертної та оціночної діяльності»: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м.Полтава, 26–27.09.2024 року). Харків: Вид-во Іванченка І. С., 2024. С. 40 – 45.

Бикадорова Н.О., Бурдун В.В., Балицька В.О. Комп'ютерне моделювання як засіб для підвищення безпеки на автомобільному транспорті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 44–47.

Балицька В. О., Балицький О. І., Колесніков В. О. Стійкість конструкційних матеріалів пожежних автомобілів до експлуатаційного зношування // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15–17 квітня 2025 року: зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 42–47.

В.В. Бурдун, Н.О. Бикадорова, А.Ю. Рожкова, О.О. Ревякіна. Деякі нові технології підготовки та навчання бакалаврів та магістрів у галузі автомобільного транспорту// Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 100–105.

Список використаних джерел

Біліченко В. В. Вступ до фаху: навчальний посібник [2-ге вид. перероб. і доп.] / Біліченко В. В., Кужель В. П., Кашканов А. А., Романюк С. О. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с.

Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів: навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.

Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Організація самостійної та практичної роботи: навчальний посібник/М.В.Митко, О.П. Шиліна, С.В., Цимбал – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 98 с.

Форнальчик Є.Ю., Оліскевич М.С. та ін. Технічна експлуатація та надійність автомобілів. – Львів: Афіша, 2004. – 492 с.

Автомобілі. Теорія експлуатаційних властивостей: навчальний посібник В.В. Біліченко, О.Л. Добровольський, В. О. Огневий, Є. В. Смирнов – Вінниця : ВНТУ, 2017.– 163 с.

Навчально-науковий інститут технологій і торгівлі. ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». URL: https://luguniv.edu.ua/?page_id=276

Сайт кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу. ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». URL: https://sites.google.com/view/portb/%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0-%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%BD%D0%BA%D0%B0

Віктор Васильович Бурдун, Ольга Олександрівна Ревякіна. Використання сучасного комп'ютерного забезпечення в навчальному процесі для підготовки фахівців у галузі технологічної освіти. Збірник тез доповідей III-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2023». 01.06.2023 – 03.06.2023: Збірник тез [Електронний ресурс]. – Вінниця: ВНТУ. – 2023. – С. 440-441. ISBN 978-966-641-935-7.
https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2023/paper/viewFile/18200/15037

Бурдун В. В., Бикадорова Н. О.; Хорошевський О. О. Приклад заміни ременя ГРМ на автомобілі Fofd Escort. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2023 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 58–62.

А.Ю. Рожкова, В.В. Бурдун, О.О. Ревякіна, Н.О. Бикадорова, Л.О. Васецька. Застосування комп'ютерного забезпечення та моделювання для автономних транспортних засобів. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 306-307.

Бикадорова Н.О., Бурдун В.В., Балицька В.О. Комп'ютерне моделювання як засіб для підвищення безпеки на автомобільному транспорті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 44–47.

Ревякіна О.О., Бурдун В.В., Колесніков В.О., Васецька Л.О., Рожкова А.Ю., Бикадорова Н.О. Приклади застосування деяких композиційних матеріалів на автомобільному транспорті. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII - та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 274–277.

В.В. Бурдун, В.О. Колесніков, Н.О. Бикадорова. Сучасні виклики при викладанні дисциплін в транспортній галузі. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 94-95. ISBN 978-966-641-950-0.

Рожкова А.Ю., Бурдун В.В., Колесніков В.О., Бикадорова Н.О., Ревякіна О.О. Приклади застосування деяких композиційних матеріалів на автомобільному транспорті. Частина 2. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII - та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 278–281.

Бурдун В.В., Колесніков В.О., Ревякіна О.О., Васецька Л.О., Колеснікова Є.Б. Використання сучасних комп'ютерних пакетів програм для моделювання механічної обробки модифікованих сталей та сплавів. Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: зб. наук. праць Міжнар. наук.-техн. конф. 8-9 лист. 2022. Запоріжжя: Національний університет Запорізька політехніка з УкрНДІСпецСталь, 2022. С. 78–80.

Бикадорова Н. О., Бурдун В. В., Сидоренко Р. С. Комп'ютерне моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2023 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 38–42.

Колесніков В.О., Колеснікова Є.Б. Перспективи застосування технологій віртуальної та доповненої реальності при викладанні дисциплін пов'язаних з транспортною галуззю // Сучасна наука та освіта: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Старобільськ, 14-15 квітня 2021 року). Старобільськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2021. С. 37 – 39. ISBN 978-617-95067-7-2.

Колесников В.А., Сыроваткин С.В., Колесникова Е.Б. Использование технологий виртуальной реальности для подготовки специалистов в области автомобильного транспорта // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 18-22.

Василенко О. Є., Безруков В. О., Шуліка С. О., Знова О. І., Іщенко Б. М., Колесніков В. О. Нові технологічні тенденції в автомобільному транспорті // Матеріали VII-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 8 - 10 квітня 2019 р., м. Вінниця. - С. 13 – 24.

Колеснікова Є.Б. Сучасні тенденції при викладанні нових дисциплін // Сучасна наука та освіта: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Старобільськ, 14-15 квітня 2021 року). Старобільськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2021. С. 39 – 41.

Н.О. Бикадорова, В.О. Колесніков, В.В. Бурдун, В.О. Балицька. Застосування комп'ютерного моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 60-62.

Ярченко Б. В., Стадник Л. Д., Колесніков В. О. Нові технології в сучасних автомобілях // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 216 - 223.

Колесніков В. О. Індустріальна технологічна революція (Індустрія 4.0), як вона торкнеться автомобільної галузі // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 90 - 94.

Цимбалюк П. Ю., Колесніков В. О. Системи зв'язку транспортних засобів // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 204 - 208.

Бурдун В. В., Колесніков В. О. Сучасний науковий стан та деякі підходи для розробки навчальної дисципліни «Трибологія» // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2023 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 63–66.

Колесніков В. О., Ставицький О. В., Єльбакієв Д. Г., Шматко О. Е. Огляд комп'ютерних пакетів та програм, що застосовуються в автомобільній галузі // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 100 - 109.

Павлова Ю.В., Рулєвська Т.Ф., Колесніков В.О. Застосування адитивних технологій в автомобільній галузі // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С. 97 -102.

Балицький О.І., Колесніков В.О., Іщенко Б.М. Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 23–30.

Водневий вектор розвитку автомобільного транспорту // О.І. Балицький, В.О. Колесніков, О.О. Ревякіна, К.Ф. Абрамек, Л.М. Іваськевич, М.Р. Гаврилюк, Є.Б. Колеснікова // XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Присвячено дню працівників автомобільного транспорту і дорожнього господарства, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 25-27 жовтня 2021 року. С. 22 – 25.

Balitskii A., Hawrilyuk M., Eliasz J., Balitska W., Kolesnikow W. Oddziaływanie wodoru na kształtowanie i odprowadzenie wiórów w obróbce skrawaniem stali wysokostopowych z użyciem ekologicznych cieczy smarująco-chłodzących // Obrobka skrawaniem – 10. – Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Jana Burka // X Szkola Obrobki Skrawaniem, Rzeszow-Lancut, 2016. – S. 447-452.

Балицький О.І., Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р. Стан розвитку та впровадження водневих технологій. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту. IX-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. Матеріали. 14-15 квітня 2021 р., м. Вінниця, 2021. С. 15 – 19.

Балицький О.І., Еліаш Я., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Мочульський В.М., Гребенюк С.О., Глюзицький О.О. Дослідження матеріалів для розробки гібридних автомобілів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 28-38.

В.О. Колесніков, О.І. Балицький, М.Р. Гаврилюк, О.О. Ревякіна, Л.М. Іваськевич. Концепція врахування впливу водню на зміну властивостей та руйнування високоміцних важкооброблюваних сталей та сплавів в умовах тертя ковзання, кочення та за механічної обробки. 15-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові, Львів, 20 – 21 травня 2021 р. Матеріали симпозіуму. – Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2021. С. 6 – 7.

Балицький О.І., Колесніков В.О., Хмель Я., Лопаткін І.О., Черняхов П.І. Дослідження зносостійкості матеріалів для деталей транспорту // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 60-64.

Ihnatieva, V. B. (2020). Development of labor potential through the intensification of creativity. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Fundamental and Applied Problems of Modern Technologies" dedicated to the 60th anniversary of Ternopil Ivan Puluj National Technical University and the 175th anniversary of the birth of Ivan Puluj, pp. 269–269.

Ігнатьєва В. Розвиток трудового потенціалу шляхом інтенсифікації творчості / В. Ігнатьєва // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: Міжнар. науковотехн. конф. до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя, 14–15 травня 2020 р., Тернопіль: матеріали. – Тернопіль: ТНТУ імені І. Пулюя, 2020. – С. 269.

Вікторія Ігнатьєва. Музеї як засіб соціокультурної адаптації іноземних студентів. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій “до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, С. 137–139.

Ihnatieva, V. Improving the quality of complex profile products from composites used in earthquake-resistant structures. Procedia Structural Integrity 2024, 59, 487–493. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.069

Ihnatieva, V. (2024). Research of technological processing of semi-finished products in the manufacture of profile products from composite materials. Strength of Materials and Theory of Structures, (112), 268-272. DOI: https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.268-272

Ігнатьєва, В. Б., & Данильченко, С. М. (2024). Ways to create a safe environment for travelling on public roads of within settlements. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 37(2), 26-29. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-26-29

В. Б. Ігнатьєва і С. М. Данильченко, «ШЛЯХИ СТВОРЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ НА ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ В МЕЖАХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ», СучТехнБудів, вип. 37, вип. 2, с. 26–29, Чер 2025.

Біліченко В.В. Вибір і обґрунтування критерію оцінки ефективності форм організації виробничої діяльності автосервісних підприємств / В.В. Біліченко, С.В. Цимбал, Ю.М. Звірик // Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи», – Вінниця: ВНТУ, 2020, Режим доступу: file:///C:/Users/User/Downloads/11057-39827-1-PB-1.pdf

---

В.О. Колесніков. Водневий транспорт та водневі автомобілі // Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 222–225.

Список використаних джерел

Hassan, Q.; Azzawi, I.D.J.; Sameen, A.Z.; Salman, H.M. Hydrogen Fuel Cell Vehicles: Opportunities and Challenges. Sustainability 2023, 15, 11501. https://doi.org/10.3390/su151511501

Боришкевич В. Водневі авто – транспорт майбутнього, але поки їх мало. У чому їх недоліки та що в Україні // LIGA.net. Дата публікації: 13.03.2023. URL: https://tech.liga.net/ua/technology/article/vodorodnye-avto-transport-buduschego-no-poka-ih-malo-v-chem-ih-nedostatki-i-chto-v-ukraine (дата звернення: 07.10.2025).

Toyota Pressing Ahead with Hydrogen Fuel Cell Plans // FuelCellsWorks. – 2025. – URL: https://fuelcellsworks.com/2025/10/03/green-technology/toyota-pressing-ahead-with-hydrogen-fuel-cell-plans (дата звернення: 07.10.2025).

1. Hydrogen Pioneers Take Collaboration to the Next Level // BMW Group News. – 05.09.2024. – URL: https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2024/hydrogen-cooperation.html (дата звернення: 07.10.2025).

Clean Hydrogen Partnership Boosts Innovation with 26 New Cutting-Edge Projects // Clean Hydrogen Partnership. – 07.05.2025. – URL: https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/news/clean-hydrogen-partnership-boosts-innovation-26-new-cutting-edge-projects-2025-05-07_en (дата звернення: 07.10.2025).

Global hydrogen vehicle sales fell by more than 20 % for second year in a row in 2024. // Hydrogen Insight. – 11 лютого 2025. – URL: https://www.hydrogeninsight.com/transport/global-hydrogen-vehicle-sales-fell-by-more-than-20-for-second-year-in-a-row-in-2024/2-1-1778041(дата звернення: 07.10.2025).

Stellantis discontinues hydrogen fuel cell programme and van production // Reuters. – 16 липня 2025. URL: https://www.reuters.com/technology/stellantis-discontinues-hydrogen-fuel-cell-programme-van-production-2025-07-16/ (дата звернення: 07.10.2025).

Міжнародне енергетичне агентство (IEA). Low-emissions hydrogen projects are set to grow strongly despite wave of cancellations and persistent challenges. — 12 вересня 2025. — URL: https://www.iea.org/news/low-emissions-hydrogen-projects-are-set-to-grow-strongly-despite-wave-of-cancellations-and-persistent-challenges (дата звернення: 07.10.2025).

Study shows making hydrogen with soda cans and seawater scalable, sustainable // MIT News. – 3 червня 2025. – URL: https://news.mit.edu/2025/study-shows-making-hydrogen-soda-cans-seawater-scalable-sustainable-0603 (дата звернення: 07.10.2025).

Hyundai Initium [Електронний ресурс] // Wikipedia. – останнє оновлення. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Hyundai_Initium (дата звернення: 07.10.2025).

Hydrogen in Transport: Current Tech and Fleet Adoption in the United States // FleetEV News. – останнє оновлення. – URL: https://fleetevnews.com.au/hydrogen-in-transport-current-tech-and-fleet-adoption-in-the-united-states/ (дата звернення: 07.10.2025).

Колесніков В. О. Водневі автомобілі та водневий транспорт // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XII-ї Міжнародної науково-практичної конференції (16–18 квітня 2024 р., м. Вінниця). – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 153–156.

Балицький О.І., Колесніков В.О., Іщенко Б.М. Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 23–30.

Балицький О.І., Колесніков В.О., Іщенко Б.М. Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі. Частина 2. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 31–45.

Гібридні та електричні транспортні засоби. Підрозділ: «Водневий транспорт та водневі технології»: конспект лекцій з дисципліни «Гібридні та електричні транспортні засоби», для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня денної та заочної форм навчання спеціальності 015.38 «Професійна освіта» освітньої-професійної програми «Транспорт»/ В. О. Колесніков ; Держ. закл. «Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка». Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. 118 с.

Бувалець М. Ю., Рулевська Т. Ф., Колесніков В. О. Стан впровадження водневих технологій на сучасному транспорті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VI-та міжн. науково-практичн. конф., 12–13 квітня 2018 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 97– 102.

Абрамек К. Ф., Балицький О., Колесніков В. Сучасні конструкційні матеріали в гібридних та водневих автомобілях // Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Полтава, 20–21 березня 2025 р.). Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2025. С. 280–287.

Рулевська Т. Ф., Єльбакієв Д. Г., Колесніков В. О. Перспективи «водневих» автомобілів // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 168 – 172.

Колесніков В.О. Водневі технології. Частина 1. Легкові водневі автомобілі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 144–157.

Колесніков В.О. Водневі технології. Частина 2. Вантажні водневі автомобілі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 158–165.

Балицький О.І., Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р. Стан розвитку та впровадження водневих технологій. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: IX-та міжн. науково-прак. конф., 14–15 квітня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 15–19.

Колесніков Валерій Олександрович. Перспективи використання зеленого водню для різних технічних галузей. Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку науки та освіти: зб. матеріалів І Всеукр. міждисцип. наук.-практ. конф. 27-28 квіт. 2022 р. Полтава: Вид-во ДЗ «Луганський національний університет ім. Т. Шевченка, 2022. С. 211–215.

Балицький О.І., Колесніков В.О., Ревякіна О.О., Абрамек К.Ф., Іваськевич Л.М., Гаврилюк М.Р., Колеснікова Є.Б. Водневий вектор розвитку автомобільного транспорту. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту. XIV-та міжн. науково-практичн. конф., 25-27 жовтня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 22–25.

Колесніков Валерій. Значення зеленого водню для енергетичної та транспортних галузей. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: III Міжн. науково-практичн. конф., 20-21 березня 2023 року: матеріали. Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. С. 407-408. ISBN 978-617-8016-78-4. https://doi.org/10.12958/978-617-8016-78-4-2023.

Сидоренко Р. С., Боркут А. В., Колесніков В. О. Переваги та недоліки електричних автомобілів // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII міжнар. науково-практ. конф., 16–18 квіт. 2024 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 309–312.

В.О. Колесніков. Впровадження водневих технологій на транспорті та суміжних галузях. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 179-181. ISBN 978-966-641-950-0.

Савінова В. В., Стадник О. І., Колесніков В. О. Розвиток і впровадження нанотехнологій в автомобілях. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: V-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2017 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2017.С. 121–124.

Колесніков В.О. Електромобілі – стан та перспективи // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII міжнародна науково-практична конференція, 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 157–160.

Ярченко Б. В., Стадник Л. Д., Колесніков В. О. Нові технології в сучасних автомобілях // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 216 - 223.

Балицький О.І., Еліаш Я., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Мочульський В.М., Гребенюк С.О., Глюзицький О.О. Дослідження матеріалів для розробки гібридних автомобілів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 28-38.

Боркут А., Колесніков В. Перспективи використання водневих технологій для харчових та переробних виробництв // «Молодь – науці і виробництву: Актуальні питання харчової промисловості»: IV Всеукраїнська науково-технічна конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених: тези доповідей, Кропивницький, 14 травня 2025 р. [Електронне видання]. – Кропивницький: ХДАЕУ, ЗВО «Херсонський державний аграрно-економічний університет», 2025. – С. 51–52.

Абрамек К. Ф., Балицький О. І., Колесніков В. О. Сучасні конструкційні матеріали в водневих та гібридних транспортних засобах // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15–17 квітня 2025 року: зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 23–28.

А.В. Боркут, Ю. Е. Рубчевський, В.О. Колесніков Сучасні тенденції застосування композитних матеріалів у конструкціях автомобілів// Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 90–93.

Список використаних джерел

Khan, F., Hossain, N., Jannat Mim, J., Rahman, S. M. M., Iqbal, M. J., Billah, M., & Chowdhury, M. A. (2025). Advances of composite materials in automobile applications – A review. Journal of Engineering Research, 13(2), 1001-1023. https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017

Wazeer, A., Das, A., Abeykoon, C., Sinha, A., & Karmakar, A. (2023). Composites for electric vehicles and automotive sector: A review. Green Energy and Intelligent Transportation, 2(1), 100043. https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100043

Spasenović, J., & Blagojević, I. Composite materials in automotive industry: A review. Industrija, 2021, 49(2), 57–68. DOI: 10.5937/industrija49-34540

Tomasi, I.; Grandi, S.; Solazzi, L. Implementation of Composite Materials for an Industrial Vehicle Component: A Design Approach. *J. Compos. Sci.* **2025**, *9*, 168. https://doi.org/10.3390/jcs9040168

Stewart Mitchell. CompositesWorld. n.d. “Composites — End Markets: Automotive 2025.” Accessed October 9, 2025. https://www.compositesworld.com/articles/composites-end-markets-automotive-2025

Композиційні матеріали: Електронний ресурс: навч. наоч. посіб. / О. М. Долгов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка» , 2024. –126 с.

Біліченко В. В. Вступ до фаху: навчальний посібник [2-ге вид. перероб. і доп.] / Біліченко В. В., Кужель В. П., Кашканов А. А., Романюк С. О. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с.

Боркут А. В., Колесніков В. О. Використання композитних матеріалів в автомобілебудуванні // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15–17 квітня 2025 року: зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 81–85.

Боркут А.В., Колесніков В.О. Приклад застосування та розрахунку композитних матеріалів у автомобілебудуванні за допомогою сучасних САПР. Частина 1. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 48–51.

Боркут А.В., Колесніков В.О., Ревякіна О.О. Приклад застосування та розрахунку композитних матеріалів у автомобілебудуванні за допомогою сучасних САПР. Частина 2. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 52–55.

Боркут А.В., Колесніков В.О., Васецька Л.О. Приклад застосування та розрахунку композитних матеріалів у автомобілебудуванні за допомогою сучасних САПР. Частина 3. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 56–59.

Боркут А., Колесніков В., Ревякіна О. Застосування композитних матеріалів при переробці вторинної сировини сільськогосподарських та побутових відходів // Молодь - науці і виробництву: Актуальні питання харчової промисловості: IV Всеукраїнська науково-технічна конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених (Кропивницький, 14 травня 2025 р.) [Електронне видання]. – Кропивницький: ХДАЕУ, ЗВО «Херсонський державний аграрно-економічний університет», 2025. – С. 17–18.

Ihnatieva, V. Improving the quality of complex profile products from composites used in earthquake-resistant structures. Procedia Structural Integrity 2024, 59, 487–493. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.069

Ihnatieva, V. (2024). Research of technological processing of semi-finished products in the manufacture of profile products from composite materials. Strength of Materials and Theory of Structures, (112), 268-272. DOI: https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.268-272

Ігнатьєва, В. Б., & Данильченко, С. М. (2024). Ways to create a safe environment for travelling on public roads of within settlements. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, *37*(2), 26-29. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-26-29

В. Б. Ігнатьєва і С. М. Данильченко, «ШЛЯХИ СТВОРЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ НА ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ В МЕЖАХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ», СучТехнБудів, вип. 37, вип. 2, с. 26–29, Чер 2025.

Игнатьев Б.Б., Игнатьева В.Б. Расчет технологических параметров при предварительном формовании полуфабриката стержневого изделия // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля. – 2007. – Частина перша. – № 7 (113). – С. 125-132.

Ігнатьєва В. Аналіз роботи профільних виробів, армованих волокнами композитів у конструкції / В. Ігнатьєва // Матеріали Міжнародої науково-технічної конференції „Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій“, 10-11 листопада 2022 року. - Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. - С. 60–61. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39062

Yan, L., & Xu, H. (2025). Lightweight composite materials in automotive engineering: State-of-the-art and future trends. Alexandria Engineering Journal, 118, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.12.002

Ставицький О. В., Стадник Л. Г., Колесніков В. О. Концепція автомобіля майбутнього // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 181 - 189.

Прохорова Т. В., Перчемлі І. Ф., Колесніков В. О. Матеріали та технології в автомобільній промисловості // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С.105 -112.

Татарінов В.Р., Бердус А.Ю., Кравцов О.В., Колесніков В.О. Сучасні матеріали для автомобілебудування // Матеріали регіональної науково-практичної конференції професійна освіта на Луганщині: теорія та практика 15–17 квітня 2014 року. м. Луганськ. - С. 218 - 223.

Колесніков В.О., Павлова Ю.В., Рулєвська Т.Ф. Застосування адитивних технологій в автомобільній галузі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: V-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2017 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 97–102.

Василенко О. Є., Безруков В. О., Шуліка С. О., Знова О. І., Іщенко Б. М., Колесніков В. О. Нові технологічні тенденції в автомобільному транспорті // Матеріали VII-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 8 - 10 квітня 2019 р., м. Вінниця. - С. 13 – 24.

Балицький О.І., Еліаш Я., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Мочульський В.М., Гребенюк С.О., Глюзицький О.О. Дослідження матеріалів для розробки гібридних автомобілів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 28-38.

Прохоров Е., Колесников В.А. Создание новых материалов для машиностроения // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції “Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД”. 19 квітня 2013 р., м. Краснодон. С. 365 - 367.

Савінова В. В., Стадник О. І., Колесніков В. О. Розвиток і впровадження нанотехнологій в автомобілях. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту: V-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 13–14 квітня 2017 р.: мат. конф. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2017. С. 121 -124.

В.О. Колесніков, М.Р. Гаврилюк, О.І. Балицький. Використання методів комп’ютерного зору для ідентифікації продуктів зношування в транспортній галузі та енергомашинобудуванні // Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 226–229.

Список використаних джерел

Krella, A. Hydrogen-Induced Degradation of Metallic Materials—A Short Review. Materials 2025, 18, 597. https://doi.org/10.3390/ma18030597

Wong, J.; Wei, H.; Zhou, D.; Cao, Z. The Target Detection of Wear Particles in Ferrographic Images Based on the Improved YOLOv8. Lubricants 2024, 12, 280. https://doi.org/10.3390/lubricants12080280

Baur, M.; Khader, I.; Kürten, D.; Schieß, T.; Kailer, A.; Dienwiebel, M. Premature Damage in Bearing Steel in Relation with Residual Stresses and Hydrogen Trapping. Lubricants 2024, 12, 311. https://doi.org/10.3390/lubricants12090311

Balitskii, A.I.; Kolesnikov, V.O.; Balitska, V.O.; Ivaskevych, L.M.; Dowejko, J.M.; Pilecki, B.J.; Havrilyuk, M.R. Computer-Integrated Surface Image Processing of Hydrogen-Saturated Steel Wear Products. Appl. Sci. 2024, 14, 11762. https://doi.org/10.3390/app142411762

Balitskii, A.I.; Kolesnikov, V.O.; Havrilyuk, M.R.; Balitska, V.O.; Ripey, I.V.; Królikowski, M.A.; Pudlo, T.K. Steel Hydrogen-Induced Degradation Diagnostics for Turbo Aggregated Rotor Shaft Repair Technologies. Energies 2025, 18, 4368. https://doi.org/10.3390/en18164368

Borkut A., Kolesnikov V., Marynchenko Ye., Danylovych O. Control of Hydrogen Charging Intensity in the Subsurface Layers of Steel Parts Based on the Analysis of Wear Particle Images // Proceedings of the International Young Scientists Conference on Materials Science and Surface Engineering (MSSE2025). Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, September 24–26, 2025. P. 262–265.

Основи діагностики автомобіля: Навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України / Укладачі: Люлька В.С., Коньок М.М., Перинський Ю.Є., Клімов О.М. – Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. – 188 с.

Колесников В.А. Продукты износа в двигателях автомобилей // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції “Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД”. 19 квітня 2013 р., м. Краснодон. С. 362 -365.

Balyts'kyi, O.I.; Kolesnikov, V.O. Investigation of Wear Products of High-Nitrogen Manganese Steels. Mater. Sci. 2009, 45, 576–581. https://doi.org/10.1007/s11003-010-9216-1

Balyts'kyi, O.I.; Kolesnikov, V.O. Investigation of the Wear Products of Austenitic Manganese Cast Irons. Mater. Sci. 2004, 40, 78–82. https://doi.org/10.1023/B:MASC.0000042788.19429.a1

Balitskii, V.O. Kolesnikov, A.I. Balitskii. Wear resistance of hydrogenated high nitrogen steel at dry and solid state lubricants assistant friction // August 2019 Archives of Materials Science and Engineering 2(98):57-67. DOI: 10.5604/01.3001.0013.4607 https://archivesmse.org/resources/html/article/details?id=193096

Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р., Балицький О.І. Застосування методів комп'ютерного зору для ідентифікації продуктів зношування та різання в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту. IX-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. Матеріали. 14-15 квітня 2021 р., м. Вінниця, 2021. С. 131 – 134.

Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Бикадорова Н. О., Колеснікова Єл. Б. Розпізнавання зображень частинок зношування як інструменту для технічної діагностики в транспортній галузі та енергомашинобудуванні Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку науки та освіти: зб. матеріалів І Всеукр. міждисцип. наук.-практ. конф. 27-28 квіт. 2022 р. Полтава: Вид-во ДЗ «Луганський національний університет ім. Т. Шевченка, 2022. С. 205–208.

Колесніков В. О., Балицький О. І., Гаврилюк М. Р., Іваськевич Л. М. Застосування комп'ютерного програмного комплексу для візуалізації шорсткості поверхні деталей в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2023 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 179–184.

Концепція враховування структурно-фазового стану експлуатованих матеріалів в енергомашинобудуванні при проведенні ремонтів з застосуванням механічної обробки. Колесніков В.О., Балицький О.І., Гаврилюк М.Р., Ревякіна О.О. II-га Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2021»: Збірник тез [Електронний ресурс]. – Вінниця: ВНТУ. – 2021. – с. 310 -312.

Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Колеснікова Є. Б. Діагностика та контроль продуктів зношування в транспортній галузі та енергомашинобудуванні для забезпечення надійної експлуатації механізмів. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту, 14-15 квіт. 2022 р.: зб. наук. праць X міжнар. наук.-техн. інтернет- конф. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 147–149.

Колесніков В.О. Застосування методів комп'ютерного зору для аналізу пошкоджуваності деталей транспорту. // Матеріали X-ї Міжнародної науково-практичної конференції Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT - 2018) 29-31 травня 2018 р., м. Херсон. – С. 312 - 316.

Свідоцтво про реєстрацію авторського права та твір № 101853. Комп'ютерна програма «Обробка зображень поверхні продуктів зношування, різання високоміцних сталей та сплавів». Колесніков Валерій Олександрович, Балицький Олександр Іванович, Гаврилюк Марія Романівна, Іваськевич Любомир Михайлович. Дата реєстрації 15 січня 2021 року.