

м. Вінниця, Україна

14-16 квітня 2026 р.

# МАТЕРІАЛИ

## XIV Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту»

# MATERIALS

## of the XIV International scientific and technical internet conference «Problems and prospects of development of automobile transport»

April 14-16, 2026

Vinnytsia, Ukraine



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

# МАТЕРІАЛИ

## XIV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ «ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ»

**14-16 квітня 2026 р.**

***https://atmconf.vntu.edu.ua***

# MATERIALS

## OF THE XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL INTERNET CONFERENCE «PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF AUTOMOBILE TRANSPORT»

**April 14-16, 2026**

**Вінниця (ВНТУ) – 2026**

**УДК 629.3**

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

***Головний редактор***
**В.В. Біліченко,** доктор технічних наук, професор

***Відповідальні за випуск:***
**С.В. Цимбал,** кандидат технічних наук, доцент
**Є.В. Смирнов,** кандидат технічних наук, доцент
**Д.В. Борисюк,** кандидат технічних наук, доцент

***Рецензенти:***
**В.А. Макаров,** доктор технічних наук, професор
**А.А. Кашканов,** доктор технічних наук, професор
**А.П. Поляков,** доктор технічних наук, професор

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.

Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-16 квітня 2026 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2026. – 553 с.

Збірник містить Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту» за такими основними напрямками: проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту та транспортних засобів; сучасні технології на автомобільному транспорті; транспортні технології, логістика, організація і безпека руху; сучасні технології організації та управління на транспорті; системотехніка і діагностика транспортних машин; стратегії, зміст та нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою в галузі автомобільного транспорту.

Роботи публікуються 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.

**УДК 629.3**

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2026

# ЗМІСТ CONTENTS

## *Матеріали наукових доповідей представлені англійською* / *The materials of the scientific reports are presented in English*

**Kylosova R.O., Shevchenko D.S.**
**IMPACT OF ARCHITECTURAL AND PLANNING SOLUTIONS OF PUBLIC TRANSPORT STOPS ON THE ORGANISATION AND SAFETY OF PASSENGER MOVEMENT** 15

**Ragulskienė J., Pauliukas A., Paškevičius P., Maskeliūnas R., Maskeliūnas V., Kuzhel V., Ragulskis L.**
**INVESTIGATION OF DYNAMICS OF INTERCONNECTED ELEMENTS OF AGRICULTURAL TRANSPORTATION DEVICE** 19

**Rudyk O., Bachok M., Kobernyk N.**
**USING CAD/CAE SYSTEM SOLIDWORKS FOR AUTOMOTIVE ENGINE REPAIR** 24

**Rudyk O., Braslavets M., Tovstiuk D.**
**USING SOLIDWORKS SIMULATION TO INVESTIGATE THE PERFORMANCE OF SPECIAL EQUIPMENT PARTS** 28

**Tytarenko V.Ye., Shumliakivskyi V.P., Shadura V.A., Soroka O.R.**
**THE APPLICATION OF VIBRATION DIAGNOSTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN VEHICLE OPERATION** 32

## *Матеріали наукових доповідей представлені українською* / *The materials of the scientific reports are presented in Ukrainian*

**Андрусенко С.І., Будниченко В.Б., Подпіснов В.С.**
**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЄМНОСТІ ТЯГОВОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ** 35

**Антонюк О.П.**
**МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НОРМ ВИТРАТ АВТОМОБІЛЬНИХ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОБУСІВ** 38

**Артюх О.М.**
**ІНТЕГРОВАНІ СТРАТЕГІЇ КЕРУВАННЯ КОМБІНОВАНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ УСТАНОВКАМИ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ** 42

**Афонін М.О., Рибак Р.Т., Максимюк О.А.**
**ЩОДО ЗНАЧИМОСТІ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЇВ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ** 46

https://atmconf.vntu.edu.ua

**Багач Р.В., Латвинський В.Д.**
**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У МІСЬКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ** 49

**Бажинов О.В., Кикла Е.М.**
**ВИБІР ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ** 53

**Балицька В.О., Балицький О.І., Колесніков В.О., Абрамек К.Ф.**
**ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА РЕСУРС КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПОЖЕЖНИХ АВТОМОБІЛІВ** 56

**Балицький О.І., Колесніков В.О., Балицька В.О., Кравчик М., Круліковскі М., Уяндіран А.С.**
**ОЦІНЮВАННЯ МЕТАЛЕВИХ, ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ, ОТРИМАНИХ ТЕХНОЛОГІЯМИ 3D-ДРУКУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СУМІСНОЇ З ВОДНЕМ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ** 61

**Балицький О.І., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Гаврилюк М.Р., Громовий С.М.**
**ЗМАЩУВАЛЬНІ РІДИНИ ЯК ФАКТОР РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНЕВОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ТА ПОШКОДЖУВАНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ** 66

**Бегерський Д.Б.**
**РОЗВИТОК ПАРАМЕТРИЧНО ОБҐРУНТОВАНИХ МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ** 71

**Бех П.В., Пархоменко С.В.**
**ДЕЯКІ ПИТАННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ МАСОВИХ ВАНТАЖІВ** 74

**Бикадорова Н.О., Бурдун В.В., Рожкова А.Ю, Ревякіна О.О., Бовет Д.О., Зиков С.А.**
**МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОНАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РЕМОНТНИХ РОБІТ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ** 77

**Бица Р.О.**
**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФІНІШНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ФОРМУВАННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА** 83

**Біліченко В.В., Цимбал О.В.**
**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ** 86

**Бойків Р.В., Євчук М.Ю., Бойків М.В.**
**ОЦІНКА КОНФЛІКТНОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ КІЛЬЦЕВОЇ ДОРОГИ М. ЛЬВОВА** 89

**Бондаренко П.Я., Віщун І.В.**
**ВИМОГИ ДО АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ, ЯКА ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФЕЛЬД'ЄГЕРСЬКО-ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ** 94

**Борисюк Д.В., Іванов Ю.Ю., Зелінський В.Й., Вдовиченко О.В.**
**МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСІВ КОМПЛЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ** 97

https://atmconf.vntu.edu.ua

**Бохонко А.В., Зінько Р.В.**
**ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМОБІЛЯ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ** 99

**Бужор А.Ю.**
**ІНТЕРАКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ** 102

**Бурдун В.В., Ревякіна О.О., Бикадорова Н.О., Рожкова А.Ю.**
**СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІН ТРАНСПОРТНОГО СПРЯМУВАННЯ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТИ** 106

**Буряк В.В., Кашканов А.А.**
**ІНТЕГРАЦІЯ ТЕЛЕМАТИКИ, ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ТА АНАЛІТИКИ У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ АГРАРНОГО СЕКТОРУ** 112

**Варчук В.В., Тодоренко Д.В.**
**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕРЕЖІ «BOSCH CAR SERVICE» В УКРАЇНІ** 117

**Варчук В.В., Тодоренко Д.В.**
**ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОСЕРВІСНОЇ ГАЛУЗІ В УКРАЇНІ** 119

**Вербицький В.Г., Кравченко О.П., Хребет В.Г., Колодницька Р.В.**
**ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ БІФУРКАЦІЙ ПРИ АНАЛІЗІ АВТОКОЛИВАНЬ У ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНИХ АСОБІВ** 121

**Виноградов М.С., Мастепан М.А., Савенок Д.В.**
**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ОБРОБЛЕНИХ СИЛІКАТНИМИ ХОНІНГУВАЛЬНИМИ БРУСКАМИ** 125

**Віштак І.В., Антонюк В.О.**
**«ЗЕЛЕНА» ЛОГІСТИКА ЯК СКЛАДОВА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ** 129

**Віштак І.В., Михальчук А.О.**
**ГЕЙМІФІКАЦІЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ** 132

**Войтик Я.М., Зінько Р.В., Скварок Ю.Ю.**
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ДЕТАЛЕЙ КРІПЛЕНЬ ОПОР АВТОМОБІЛЬНОЇ ЦИСТЕРНИ** 135

**Голомисов В.Д.**
**ПОВЕДІНКА ВОДІЯ ЯК ІНДИКАТОР ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ДИЗАЙНУ ТРАНСПОРТНОГО СЕРЕДОВИЩА** 138

**Голуб Д.В., Аулін В.В., Голованов А.П., Степанов В.В., Зазімко А.Ю.**
**АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ-ТАКСІ ПРИ ЗРОСТАННІ ЇХ НАПРАЦЮВАННЯ** 143

**Голуб Д.В., Аулін В.В., Кічура Р.П.**
**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ ПІДВИЩЕННЯМ ЇХ РЕСУРСУ** 147

https://atmconf.vntu.edu.ua

**Голуб Д.В., Аулін В.В., Ювженко О.В.**
**ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ** 151

**Горіна О.М.**
**ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У КОНЦЕПЦІЇ MOBILITY-AS-A-SERVICE** 155

**Григурко М.І., Діденко Ю.А.**
**СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ТА НАПРЯМИ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ** 158

**Гупка А.Б., Хорошун Р.В., Слободян Л.М.**
**ОЦІНКА ТРИБОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПОРІЗКИ АВТОШИН** 160

**Дембіцький В.М., Боярський Н.Р.**
**АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ ФОРМУВАННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТЕЙ СТО ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ** 165

**Демчина В.Р., Баляш А.О.**
**ІНТЕГРАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ ЛОГІСТИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ** 168

**Демчина В.Р., Ковальчук О.І., Пилат В.В.**
**УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В СИСТЕМІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ** 172

**Демчина В.Р., Тераз Б.В.**
**КОМПЕТЕНТНІСНИЙ ПІДХІД У ПІДГОТОВЦІ ІНЖЕНЕРІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ: СУЧАСНІ ВИМОГИ РИНКУ ПРАЦІ** 176

**Домненко М.Г., Колесникова І.М.**
**ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ БАЗИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ П-18 «МАЛАХІТ»** 180

**Дорощук В.О., Сліпенький Є.Б.**
**КОНТЕЙНЕРНА ЛОГІСТИКА ЕКСПОРТНО-ІМПОРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ** 182

**Дудко А.Ю., Кузьмінець М.П., Зотько Д.С.**
**ОЦІНКА ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ НА АВТОНОМНИЙ ХІД ТРОЛЕЙБУСІВ** 185

**Дьяченко В.О.**
**ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОРГАНІЗАЦІЇ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ТА ЛОГІСТИЦІ** 188

**Жук М.М., Ковалишин В.В.**
**ОЦІНКА ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ТА ПОГОДНИХ УМОВ НА ІНТЕРВАЛИ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА БАГАТОСМУГОВИХ ДОРОГАХ** 192

**Загорянський В.Г., Тесленко А.А.**
**МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ** 195

https://atmconf.vntu.edu.ua

**Захарчук В.І., Феденчук Т.Б., Мороз М.М.**
**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ** 198

**Зінченко І.Б., Кирик С.С., Крук О.Ю.**
**ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ РОТАЦІЙНИМ СПОСОБОМ** 201

**Ігнатьєва В.Б.**
**ВЕЛОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ В СТРУКТУРІ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ** 204

**Ігнатюк Р.М., Рижий О.П., Пахаренко В.Л.**
**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З УРАХУВАННЯМ ДЕГРАДАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ** 207

**Ільченко В.Ю., Баблюк А.В.**
**МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА** 210

**Кав'юк В.В., Кашканов А.А.**
**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ УДОСКОНАЛЕННЯ БАГАТОМОДУЛЬНИХ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ** 213

**Канчуга М.К.**
**ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ТА ТАКТИКО-ТЕХНІЧНІ ПЕРЕВАГИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСМІСІЙ У ВІЙСЬКОВІЙ АВТОМОБІЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ** 217

**Кашканов В.А., Гриб С.С.**
**ВПЛИВ ТАРИФНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРКУВАННЯ НА ПАРАМЕТРИ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ МІСТА** 220

**Кашканова Г.Г.**
**КОМПЕТЕНТНІСНО-ОРІЄНТОВАНЕ ОЦІНЮВАННЯ У ТЕХНІЧНИХ ЗВО: ПРОЗОРІСТЬ, САМООЦІНКА ТА РЕФЛЕКСІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТИ РОЗВИТКУ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ** 223

**Кирик С.С.**
**ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОНІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ** 227

**Клімов Е.С., Солтус А.П.**
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІЗКА ТРИОСЬОВОГО АВТОМОБІЛЯ НА КІНЕМАТИКУ КЕРОВАНИХ КОЛІС** 229

**Коваленко Р.І.**
**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПІДІГРІВНИКА ПАЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ** 233

**Ковальчук І.В., Мороз Л.В., Пугачева К.В., Бучко О.Ю.**
**ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ ПРИ РОБОТІ ДВИГУНА ЗА ДИЗЕЛЬНИМ І ГАЗОДИЗЕЛЬНИМ ЦИКЛАМИ** 235

**Колесніков В.О.**
**ОЦІНЮВАННЯ ВОДНЕВОЇ ПОШКОДЖУВАНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕМЕНТІВ ВОДНЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ** 239

**Колесніков В.О.**
**ПРОДУКТИ ЗНОШУВАННЯ В ДВИГУНАХ АВТОМОБІЛІВ** 244

**Колесніков В.О., Балицький О.І., Балицька В.О., Хмель Я.**
**МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ПОЖЕЖНИХ АВТОМОБІЛІВ** 250

**Колесніков В.О., Бурдун В.В.**
**СУЧАСНИЙ НАУКОВИЙ СТАН ТА ДЕЯКІ ПІДХОДИ ДЛЯ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ГІБРИДНІ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ»** 255

**Корендій В.М., Качур О.Ю., Карпин Р.Б., Пилип М.В., Предко Р.Я.**
**ЗАГАЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА НАЗЕМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ НА ГУСЕНИЧНОМУ ШАСІ З МАНІПУЛЯТОРОМ ТИПУ SCARA** 261

**Корендій В.М., Федунишин Н.М., Пасіка В.Р., Угрин Л.С., Похмурська А.В.**
**КІНЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДВОКООРДИНАТНОГО МЕХАНІЗМУ ОДНОРУЧНОГО КЕРУВАННЯ ПЕДАЛЯМИ АКСЕЛЕРАТОРА, ЗЧЕПЛЕННЯ І ГАЛЬМА АВТОМОБІЛЯ** 266

**Коробко А.І., Семенов І.В.**
**ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ У ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА** 270

**Корпач А.О., Коноваленко А.С.**
**БІОДИЗЕЛЬ – ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО** 273

**Корпач О.А., Трубенок А.А.**
**ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ СУПУТНИКОВОЇ ТЕЛЕМЕТРІЇ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТЯГОВО-ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГКОГО КОМЕРЦІЙНОГО АВТОМОБІЛЯ** 277

**Крайник Л.В., Дуфанець І.Г., Хімка С.М., Дуфанець М.В.**
**МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ ТА ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ТРИВІСНИХ АВТОБУСІВ ОСОБЛИВО ВЕЛИКОЇ МІСТКОСТІ** 280

**Криворот А.І., Демченко І.В.**
**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ РУХУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВЗ ЧЕРЕЗ МОДЕРНІЗОВАНІ ГЛУШНИКИ** 283

**Кудін О.П., Дударенко О.В.**
**ПІДВИЩЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛЯ ПЕРЕОБЛАДНАНОГО ДЛЯ РОБОТИ НА ЗНГ** 287

**Куць Н.Г.**
**ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ НА ВОДІ** 291

**Кушнір Д.Е.**
**ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ РІЗНИХ ВИДІВ І ТИПІВ ДЛЯ ДОСТАВКИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ» ПРИ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ** 294

**Латвинський В.Д., Багач Р.В.**
**АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТА ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ТВЕРДОТІЛЬНИХ АКУМУЛЯТОРІВ В ЕЛЕКТРОМОБІЛЯХ** 297

**Латвинський В.Д., Багач Р.В.**
**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ** 301

**Лебідь Є.М., Лебідь І.Г., Лужанська Н.О.**
**УПРАВЛІННЯ ДІЯЛЬНІСТЮ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ** 305

**Макаров В.А., Савенок Д.В., Мастепан С.М.**
**ОРГАНІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПОСЛУГ АВТОСЕРВІСУ** 308

**Мармут І.А.**
**ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ З РОЛИКАМИ СТЕНДА НЕСИМЕТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИ ГАЛЬМУВАННІ** 312

**Марчук М.М., Марчук Н.М., Яворський М.М.**
**ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРОВАНОГО РУХУ ДОВГОМІРНИХ НЕРЕЙКОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ** 315

**Марчук М.М., Марчук Р.М., Дарморост І.М.**
**ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ КЕРОВАНОГО РУХУ МЕТРОБУСА** 318

**Мастепан М.А., Виноградов М.С., Макарова Т.В., Нежувака Л.В.**
**МОДЕЛЬ ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЦІНИ НА ТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ АВТОПІДПРИЄМСТВА** 321

**Мачульський М.А.**
**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИТРАТИ ПАЛИВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ N3 ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ CRM-ПЛАТФОРМИ** 325

**Микольченко В.С.**
**УПРАВЛІННЯ ФОРМУВАННЯМ ПОТЕНЦІАЛУ РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА** 328

**Митко М.В.**
**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФАКТИЧНОГО ТА ПРОЄКТНОГО СТАНУ ПАРКУВАЛЬНОГО ПРОСТОРУ НА ПРИКЛАДІ ПАРКОВКИ МІКРОРАЙОНУ «ВИШЕНЬКА» МІСТА ВІННИЦЯ** 331

**Москалюк М.Л., Кашканов А.А.**
**СТРУКТУРНО-СИСТЕМНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ВІННИЧЧИНИ ТА ЛОГІСТИЧНОЇ ЕКОСИСТЕМИ РИНКУ ЗАПЧАСТИН** 335

**Мурований І.С.**
**СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙ У ТРАНСПОРТНУ ІНФРАСТРУКТУРУ** 339

**Назарова О.С., Міщенко Р.В.**
**МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ЯК ОСНОВА РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ МАЙБУТНЬОГО** 342

**Назарова О.С., Цикало А.А.**
**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ У ВИРОБНИЦТВІ АВТОМОБІЛІВ** 344

**Нестер А.А., Дробот О.С.**
**ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ГАЛУЗІ АВТОТРАНСПОРТУ З ОХОРОНИ ПРАЦІ** 346

**Нікорчук А.І.**
**ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ** 350

**Огневий В.О., Науменко Д.В.**
**ПРОБЛЕМАТИКА НАДАННЯ СИТУАТИВНОЇ ДОПОМОГИ У КОРИСТУВАННІ МІСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ ОСОБАМИ З ОБМЕЖЕНИМИ ФІЗИЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ** 354

**Оліскевич М.С., Хомин Н.Я.**
**ПІДГОТОВКА ВЕЛИКИХ НАБОРІВ ДАНИХ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ГРАФІКІВ РОБОТИ ВОДІЇВ МІЖМІСЬКИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ** 357

**Осташевський С.А.**
**ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЕМ** 361

**Павленко В.М., Павленко В.М.**
**ВПЛИВ V2X-ВЗАЄМОДІЇ НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ ДОРІГ У СИСТЕМІ SMART CITY** 364

**Павленко О.В., Рижиков М.В., Барміна Д.В.**
**МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ВАРІАНТУ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ СКЛАДУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЗАСОБІВ НАВАНТАЖЕННЯ-РОЗВАНТАЖЕННЯ** 367

**Павлюк В.І., Булік Ю.В., Куць Н.Г.**
**МОДЕЛІ ЦИФРОВОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ПІДПРИЄМСТВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ** 371

**Пелех О.Р., Зінько Р.В.**
**ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ** 374

**Петрюк Ю.І., Артюх О.М.**
**ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ АВТОНОМНИХ ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ** 377

**Пікула М.В.**
**РОЗВИТОК МОБІЛЬНОГО АВТОСЕРВІСУ У М. РІВНЕ** 383

**Плекан У.М., Матвіїшин А.Й.**
**ТРАНСПОРТНА СКЛАДОВА В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАВОК** 387

**Плекан У.М., Плекан В.І.**
**УПРАВЛІННЯ ЕКОНОМІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ** 389

**Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Кальченко В.В., Худяков І.В.**
**ФОРМУВАННЯ АЛГОРИТМУ ПРОЦЕСУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS** 391

**Поляков А.П., Кляшторний О.О.**
**ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ** 396

**Порфіренко В.І., Кумпан А.С.**
**АДМІНІСТРАТИВНИЙ ТА КОМУНІКАЦІЙНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ В ПІДПРИЄМНИЦЬКІЙ ДІЯЛЬНОСТІ** 400

**Порфіренко В.І., Луговцов А.С.**
**ЕКОНОМІЧНІ МЕЖІ РЕНТАБЕЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У ПІДПРИЄМНИЦЬКІЙ ДІЯЛЬНОСТІ** 403

**Порфіренко В.І., Цуркан І.С.**
**ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТУ ПРИ ПЕРЕХОДІ НА ЕЛЕКТРОМОБІЛІ** 407

**Порфіренко В.І., Дробязко А.Р.**
**ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ УКРАЇНСЬКОГО АВТОСЕРВІСУ З УРАХУВАННЯМ СВІТОВОГО ДОСВІДУ** 410

**Посонський С.Ф.**
**РОЗВИТОК БЕЗПЕЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ** 413

**Пристінський С.М., Гериш Є.**
**НАПРЯМИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ СЕРЕДНЬОТОННАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ** 415

**Пристінський С.М., Твердохліб В.С.**
**ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЛІЦЕНЗУВАННЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЇ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ** 418

**Прокудін Г.С., Мельников І.А., Поляк П.К., Цуканов О.І.**
**ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ СМАРТ-ТАХОГРАФІВ В УКРАЇНІ** 420

**Птушевський В.В., Колесніков В.О., Балицька В.О.**
**АВТОМОБІЛЬНА ТЕХНІКА ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ** 424

**Ревякіна О.О., Бурдун В.В., Рожкова А.Ю., Бикадорова Н.О., Боркут А.В.**
**СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ** 429

https://atmconf.vntu.edu.ua

**Ричок С.О., Гутаревич Ю.Ф.**
**ВПЛИВ СПОСОБУ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ НА ВИТРАТУ ПАЛИВА ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ** 434

**Рогозін І.В., Пічугін І.М., Новічонок С.М., Цибульський О.В.**
**ЗАСТОСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЗДОБУВАЧАМИ ВИЩОЇ ОСВІТИ** 438

**Родюков А.О., Юхно В.А.**
**ЦИФРОВІЗОВАНА МОДЕЛЬ ДОПУСКУ ДО ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ: МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ VR-СИМУЛЯЦІЙ ТА ШТРАФНИХ ФУНКЦІЙ** 442

**Сакно О.П., Клещевников Д.В., Лимар К.О.**
**ЗВ'ЯЗОК МІЖ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ (V2X) VEHICLE-TO-EVERYTHING. ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ В СУЧАСНУ ДОРОЖНЮ ІНФРАСТРУКТУРУ** 445

**Сахно В.П., Поляков В.М., Паламарчук О.В.**
**ДО АНАЛІЗУ КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ** 448

**Сахно В.П., Шарай С.М., Рой М.П., Поляков В.М.**
**ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ В ПРОЦЕСАХ ВИКОНАННЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ РУХОМИМ СКЛАДОМ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ** 453

**Свідерський В.П., Пірог Л.В., Медведчук О.М.**
**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ АВТОМОБІЛЯ** 457

**Сидоров Д.Ю., Лубенець Ю.М.**
**ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ З ВИСОКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ** 461

**Скібіна О.В.**
**ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ** 464

**Скорик М.О.**
**ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ БУКСУВАННЯ КОЛІС АВТОМОБІЛЯ В РІЗНИХ ДОРОЖНІХ УМОВАХ** 467

**Слинько Г.І., Сухонос Р.Ф.**
**ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ У ДВОТАКТНИХ ДВЗ: СУЧАСНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ, ЇХ НЕДОЛІКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ** 470

**Сметанкіна Н.В., Місюра С.Ю., Місюра Є.Ю.**
**ОЦІНКА МІЦНОСТІ БАГАТОШАРОВОГО СКЛІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ** 474

**Смирнов О.П., Багач Р.В., Мовчан Н.Г.**
**ЕВОЛЮЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЛІТІЙ-ІОННИМИ АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ** 476

**Сніжко Л.Л.**
**ІННОВАЦІЇ В УПРАВЛІННІ ОПЕРАЦІЙНИМИ ПРОЦЕСАМИ ЯК ОСНОВА РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ** 479

**Соловйов М.Є.**
**ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ** 483

**Стадник О.С., Морозюк С.В.**
**ДІАГНОСТУВАННЯ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ** 486

**Тарасенко О.В., Обертінська В.О.**
**ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ НА РОЗВИТОК АВТОМОБІЛЬНОГО РИНКУ ЄВРОПИ** 489

**Тарасенко С.М., Котов Д.О., Скремінський В.К., Ярошевський О.М.**
**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ** 492

**Тесля В.О., Гупка А.Б.**
**СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ДТП В ЗАХІДНИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ НА ПРИКЛАДІ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ З 2022-2025 РОКИ** 495

**Титаренко В.Є.**
**ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕЗАМКНУТИХ ПРОФІЛІВ ПОПЕРЕЧИН ЗВАРНИХ РАМ АВТОМОБІЛІВ І НАПІВПРИЧЕПІВ НА РІВНОМІЦНІСТЬ ЇХ КОНСТРУКЦІЙ** 498

**Тодоренко Д.В., Борисюк Д.В.**
**АНАЛІЗ ВОДНЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ПОЗИЦІЙ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ** 500

**Тюрдьо Н.О.**
**ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ БАГАТОСМУГОВОЮ ПРОЇЗНОЮ ЧАСТИНОЮ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ВОДІЯ** 503

**Форнальчик Є.Ю., Гілевич В.В.**
**НЕ УСІ ПРОБЛЕМИ ДОПОМОЖЕ РОЗВ'ЯЗАТИ ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ** 506

**Хітров І.О.**
**МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ У МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕСАДОЧНИХ КОМПЛЕКСАХ** 509

**Худяков І.В., Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Черненко В.В.**
**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПІДХОДІВ КЕРУВАННЯ СТАНОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТИАЦІЇ** 512

**Цимбал С.В., Варчук В.В., Вдовиченко О.В.**
**ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ЛІКВІДНОСТІ АВТОМОБІЛІВ-САМОСКИДІВ АГРАРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ВТОРИННОМУ РИНКУ ВІННИЧЧИНИ** 516

**Цимбал С.В., Глиняний В.С.**
**ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМОБІЛЬНИМИ ПАСАЖИРСЬКИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ** 521

https://atmconf.vntu.edu.ua

**Цимбал С.В., Сокур О.А.**
**АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВИБОРУ ВИДУ ТРАНСПОРТУ В СИСТЕМІ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ** 524

**Черепаха О.С., Бойко А.Г., Колісник О.В.**
**ВИЗНАЧЕННЯ ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТАВКИ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИМ ЦЕНТРОМ У КОНТЕЙНЕРАХ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ** 527

**Черненко С.М., Мурашко О.А.**
**ВПЛИВ УСТАНОВЧИХ ПАРАМЕТРІВ КЕРОВАНОГО КОЛЕСА НА ВАГОВИЙ СТАБІЛІЗУЮЧИЙ МОМЕНТ** 531

**Чеховський Д.В.**
**ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК РОЗВИТКУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНСЬКИХ МІСТ З УРАХУВАННЯМ ВИКЛИКІВ ОСТАННІХ РОКІВ** 534

**Чуйко С.П.**
**МЕТОД РОЗПОДІЛУ ФАКТОРІВ ОЦІНКИ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ** 538

**Шевчук В.В., Здобицький А.Я., Бачинська І.В., Головенко А.В.**
**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ГАЛЬМІВНОГО ШЛЯХУ АВТОМОБІЛІВ ОРС ЦЗ ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ РУХУ** 542

**Шевчук Є.В., Наглюк І.С.**
**АНАЛІЗ ПЕРЕДОВИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У МІСТАХ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇХ ВДОСКОНАЛЕННЯ** 546

**Шепеленко І.В., Красота М.В., Магопець С.О.**
**ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МИТТЯ АВТОМОБІЛІВ** 550

UDK 656.11.021

**Kylosova R.O., Shevchenko D.S.**

# IMPACT OF ARCHITECTURAL AND PLANNING SOLUTIONS OF PUBLIC TRANSPORT STOPS ON THE ORGANISATION AND SAFETY OF PASSENGER MOVEMENT

*The paper investigates the impact of architectural and planning solutions of transport stops on the nature of passenger flow distribution. Coefficients of variation for load non-uniformity were calculated, establishing that the absence of sections of safety fencing leads to passenger crowding near specific doors and slows down boarding and alighting processes. Based on the research results, the implementation of additional mandatory regulatory requirements for the equipment of island stops is justified to enhance urban transport efficiency and passenger safety.*

***Key words:*** *island stops, passenger flow, pedestrian guardrails, transport efficiency.*

The effective organisation of public transport operations in modern cities significantly depends on the duration of passenger boarding and alighting at stops. One of the key influencing factors is the architectural, planning, and design solutions of the stops [1-2], which can determine the non-uniformity of passenger distribution among all available doors of the vehicle.

Current regulatory frameworks for public transport infrastructure design in Ukraine, specifically state building codes [3], provide a solid foundation for the arrangement of standard boarding platforms by regulating spatial requirements, dimensions, and equipment. However, given the active development of modern transport interchanges, there is a perceived need for further clarification of requirements specifically for island stops. At the national level, the parameters for such facilities are currently described less comprehensively than those for conventional stops. Consequently, their design often relies on adaptive local regulations from city councils, such as the experience of implementing safety elements in Lviv [4].

This situation determines the relevance of researching the configurations of both conventional and island stops, as their geometric and structural designs directly impact not only passenger safety but also the uniformity of passenger flow distribution across urban transport doors.

To investigate the non-uniformity of passenger flow distribution across public transport doors, field observations were conducted at two sections of the road network in Lviv (Shevchenka and Zamastynivska Streets). The objects of study were two types of stops: conventional and island. The research was carried out using a manual count method (tally sheet method) for tram routes No. 7 and No. 9. To ensure data representativeness, observations were conducted throughout the day, covering morning and evening peak periods, as well as the inter-peak (midday) interval.

According to the results of the observations, the stops under study are equipped with standard infrastructure elements: a waiting shelter, a bench, tactile paving, and a litter bin. However, at the island stops on Horodnytska and Haidamatska Streets (the study section of Zamastynivska Street), waiting shelters are absent, and the island stop on Horodnytska Street is further characterised by the incomplete installation of fencing along the boarding platform. It was also established that the conventional stop on Haidamatska Street and the island stop on Horodnytska Street are somewhat narrow. The organisation of pedestrian links at the observed sites provides access to the stops via pedestrian crossings located at both ends of the stops.

The results of the study on tram door loading (where 1 represents the front doors, 2 and 3 the middle doors, and 4 the rear doors) are presented in Tables 1–4.

Based on the data presented in Tables 1–4, diagrams of passenger flow distribution by door groups were constructed (Figs. 1 and 2), allowing for the visualisation of load non-uniformity depending on the type of stop.

Table 1 – Tram door loading on route No. 7 at conventional stops

| Boarding | | | | Alighting | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Yeroshenka St | | | | | | | |
| 13 | 11 | 42 | 53 | 79 | 72 | 98 | 101 |
| Ya. Mudroho St | | | | | | | |
| 7 | 22 | 6 | 21 | 62 | 39 | 40 | 83 |

Table 2 – Tram door loading on route No. 9 at conventional stops

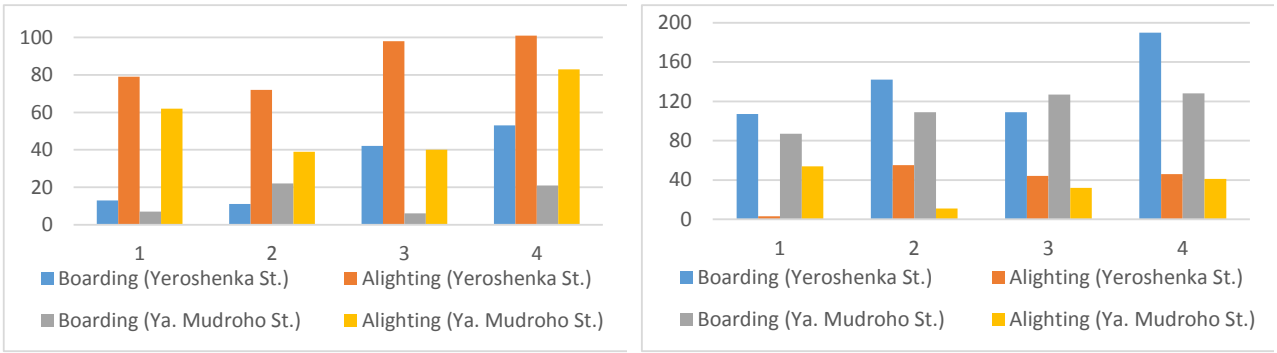
| Boarding | | | | Alighting | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Haidamatska St | | | | | | | |
| 19 | 12 | 1 | 33 | 32 | 5 | 8 | 12 |
| Horodnytska St | | | | | | | |
| 44 | 22 | 39 | 92 | 5 | 16 | 15 | 15 |

Table 3 – Tram door loading on route No. 7 at island stops

| Boarding | | | | Alighting | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Yeroshenka St | | | | | | | |
| 107 | 142 | 109 | 190 | 3 | 55 | 44 | 46 |
| Ya. Mudroho St | | | | | | | |
| 87 | 109 | 127 | 128 | 54 | 11 | 32 | 41 |

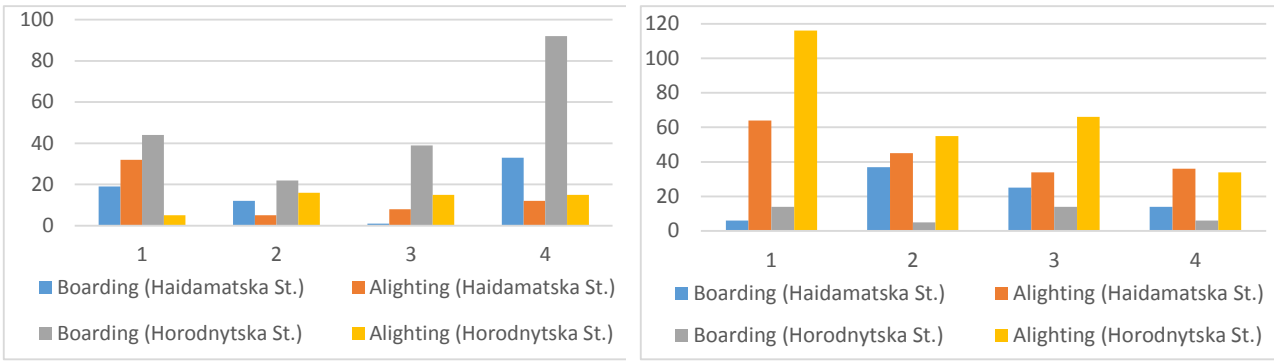
Table 4 – Tram door loading on route No. 9 at island stops

| Boarding | | | | Alighting | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Haidamatska St | | | | | | | |
| 6 | 37 | 25 | 14 | 64 | 45 | 34 | 36 |
| Horodnytska St | | | | | | | |
| 14 | 5 | 14 | 6 | 116 | 55 | 66 | 34 |




a b

Figure 1 – Diagrams of tram door load distribution on route No. 7 at conventional (a) and island (b) stops




a b

Figure 2 – Diagrams of tram door load distribution on route No. 9 at conventional (a) and island (b) stops

In order to quantify the non-uniformity of passenger load distribution across the doors, the coefficient of variation ($CV$) was calculated using Equation 1:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1)$$

where $\sigma$ is the standard deviation;

$\mu$ is the arithmetic mean value of the load share per *i-th* door (the arithmetic mean for the tram is $\mu = 1/4 = 0.25$, where 4 is the number of doors in the tram).

The standard deviation was calculated using Equation 2:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\delta_i - \mu)^2}{n}} \quad (2)$$

where $\delta_i$ is the share of passenger flow through the i-th door

In Equation 2, the values of the passenger flow share through the *i-th* door ($\delta_i$) relative to the total passenger flow at the corresponding stop were used, which were calculated using Equation 3:

$$\delta_i = \frac{P_{boarding,i} + P_{alighting,i}}{\sum_{j=1}^{n}\left(P_{Boarding,j} + P_{alighting,i}\right)} \quad (3)$$

where $P_{boarding,i}$ is the number of passengers who boarded through the *i-th* door;

$P_{alighting,i}$ is the number of passengers who alighted through the *i-th* door.

The determined coefficients of variation ($CV$) are summarised in Table 5

Table 5 – Coefficients of variation for the non-uniformity of passenger flow distribution on tram routes No. 7 and No. 9

| Tram No. 7 | | Tram No. 9 | |
|---|---|---|---|
| Yeroshenka St | Ya. Mudroho St | Haidamatska St | Horodnytska St |
| *Conventional stops* | | | |
| 0.259 | 0.304 | 0.585 | 0.429 |
| *Island stops* | | | |
| 0.271 | 0.127 | 0.184 | 0.432 |

The analysis of the coefficients of variation for the tram on route No. 7 showed that island stops provide a slightly more uniform distribution of passengers compared to conventional ones (at Ya. Mudroho St, the coefficient of variation is 0.127 versus 0.304). On route No. 9, the high non-uniformity of passenger flow load distribution at the conventional stop on Haidamatska St (0.585) is caused by the narrow width of the boarding platform, whereas the island stop in this section operates significantly more efficiently (0.184). In the case of Horodnytska St, a higher non-uniformity was obtained for the island stop (0.432).

In the case of the island stop on Horodnytska St, the coefficient of variation is higher

($CV$ = 0.432). Field observations showed that passengers create the heaviest load on the front doors of the tram (Fig. 2, b), which is explained by the absence of fencing and guardrails in the rear part of the boarding platform next to the pedestrian crossing. Despite the presence of pedestrian crossings at both ends of the island stop on Horodnytska St, the lack of fencing and guardrails at one end forces passengers to concentrate near the front doors, subjectively preferring a safer exit through the front doors towards the pedestrian crossing. Furthermore, such passenger loading on the front doors significantly slows down the boarding and alighting process.

The results of the study demonstrated that the geometric and structural configurations of public transport stops influence passenger behaviour and the non-uniformity of passenger flow distribution across the doors of the rolling stock. It was established that the partial absence of fencing and guardrails near pedestrian crossings at island stops triggers excessive passenger crowding specifically near certain doors. To address the identified shortcomings, the implementation of mandatory requirements for the installation of continuous safety fencing along the entire length of the boarding platform is proposed, as well as the installation of handrails at the entrances and exits at both ends of island stops. Incorporating these design requirements will ensure a uniform load on transport doors, minimise delays during boarding and alighting, improve adherence to schedules, and enhance the overall level of passenger comfort and safety.

## References

1. Postranskyy T., Afonin M., Boikiv M., Bura R. Identifying patterns of change in traffic flows' parameters depending on the organization of public transport movement. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Vol. 5, № 3 (131). P. 72–81. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313636

2. Danyliuk, D. (2015). Bezpechni vulytsi. Perekhody, zupynky, ostrivtsi bezpeky [Safe streets. Crossings, stops, refuge islands]. Platforma rozvytku mist [Urban Development Platform]. Available at: http://urbanua.org/dosvid/zakordonni-pryklady/152 (Accessed: 28 March 2026). [Ukrainian]

3. DBN V.2.3-5:2018. Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv [Streets and roads of settlements]. Kyiv: Minrehion of Ukraine, 2018. 55 p. [Ukrainian]

4. On approval of the requirements for the installation of boarding platforms at public transport stops in the city of Lviv: Decision of the Executive Committee of the Lviv City Council dated 22 May 2020 No. 426. [Ukrainian]

***Ruslana Kylosova*** – 2nd-year student at Lviv Polytechnic National University, e-mail: ruslana.kylosova.tt.2024@lpnu.ua.

***Dmytro Shevchenko*** – Ph. D., Assistant at the Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University, e-mail: dmytro.s.shevchenko@lpnu.ua.

***Килосова Руслана*** – студентка 2 курсу навчання Національного університету «Львівська політехніка», e-mail: ruslana.kylosova.tt.2024@lpnu.ua.

***Шевченко Дмитро*** – Ph. D., асистент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка», e-mail: dmytro.s.shevchenko@lpnu.ua.

UDC 631.3

**Ragulskienė J., Pauliukas A., Paškevičius P., Maskeliūnas R., Maskeliūnas V., Kuzhel V., Ragulskis L.**

# INVESTIGATION OF DYNAMICS OF INTERCONNECTED ELEMENTS OF AGRICULTURAL TRANSPORTATION DEVICE

*In transportation devices the case of the machine often consists from mutually interconnected plate-type structures. In this work a simplified two-dimensional model is investigated. It is assumed that there are two straight elastic parts interconnected near to their ends by an elastic interconnecting element. The structure in the status of plane stress is investigated numerically. Eigenmodes of the analyzed element of agricultural transportation device are represented graphically and investigated.*

***Keywords:*** *transportation device, elastic structure, interconnection, eigenmodes of vibrations, dynamic behavior.*

## 1. Introduction

In transportation devices the case of the machine often consists from mutually interconnected plate type structures. Here a simplified two dimensional model is investigated. It is assumed that there are two straight elastic parts interconnected near to their ends by an elastic interconnecting element. The structure in the status of plane stress is investigated numerically using the method of finite elements. Eigenmodes of the analyzed element of agricultural transportation device are represented graphically and investigated. The performed investigation is based on the previous papers of the authors in the field of analysis of dynamics and vibrations [1] – [7].

## 2. Model of the interconnected elements of agricultural transportation device

Finite element method is used. Plane stress problem is solved using Lagrange quadratic element with nine nodes.

The parameters of the straight parts are assumed to be the following ones:

$$E = 6 \cdot 10^8, \ \nu = 0.3, \ h = 0.1, \ \rho = 785, \tag{1}$$

where $E$ represents the modulus of elasticity, $\nu$ represents the Poisson's ratio, $h$ represents the thickness of the investigated structures and $\rho$ represents the density of the material of the investigated structures.

The parameters of the interconnecting element are assumed to be the following ones:

$$E = 6 \cdot 10^7, \ \nu = 0.3, \ h = 0.1, \ \rho = 78.5. \tag{2}$$

All displacements at the left end of the first straight part and at the right end of the second straight part are assumed to be equal to zero.

## 3. Eigenmodes of the interconnected elements of agricultural transportation device

The first eigenmode of vibrations of the interconnected elements of agricultural transportation device is presented in Fig. 1.

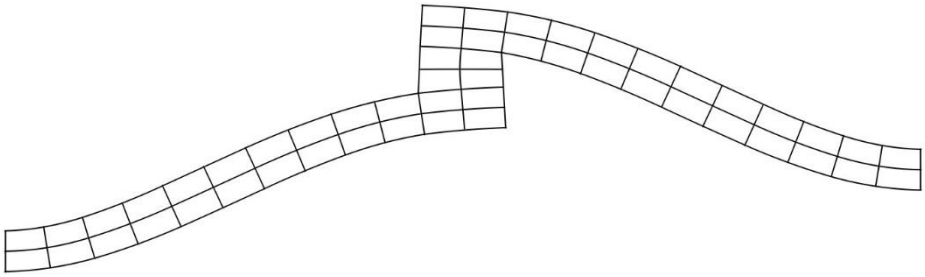


Figure 1 – The first eigenmode of the interconnected elements of agricultural transportation device

The second eigenmode of vibrations of the interconnected elements of agricultural transportation device is presented in Fig. 2.

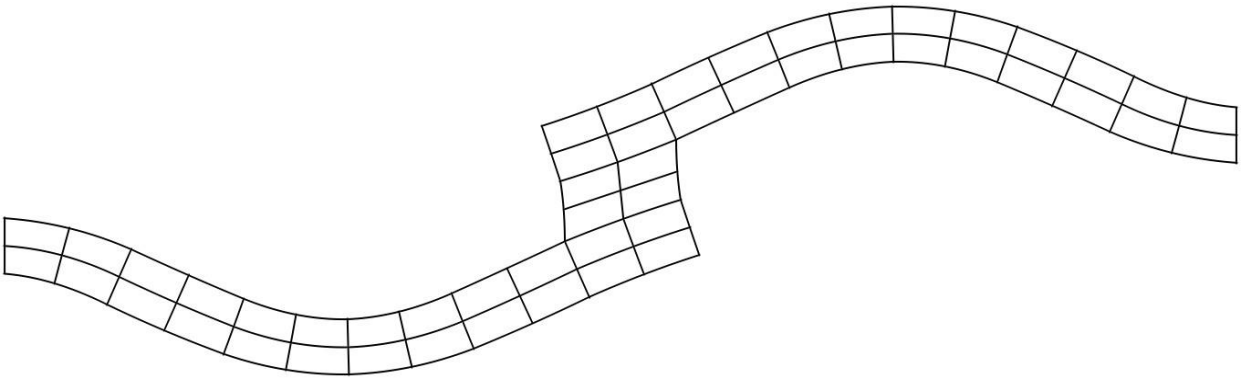


Figure 2 – The second eigenmode of the interconnected elements of agricultural transportation device

The third eigenmode of vibrations of the interconnected elements of agricultural transportation device is presented in Fig. 3.

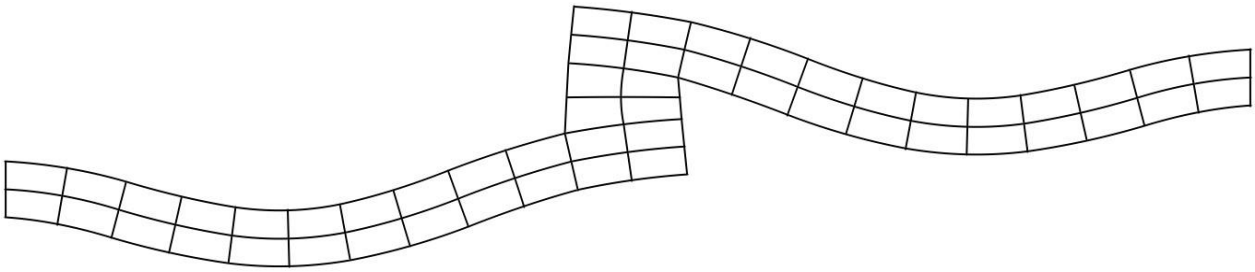


Figure 3 – The third eigenmode of the interconnected elements of agricultural transportation device

The fourth eigenmode of vibrations of the interconnected elements of agricultural transportation device is presented in Fig. 4.

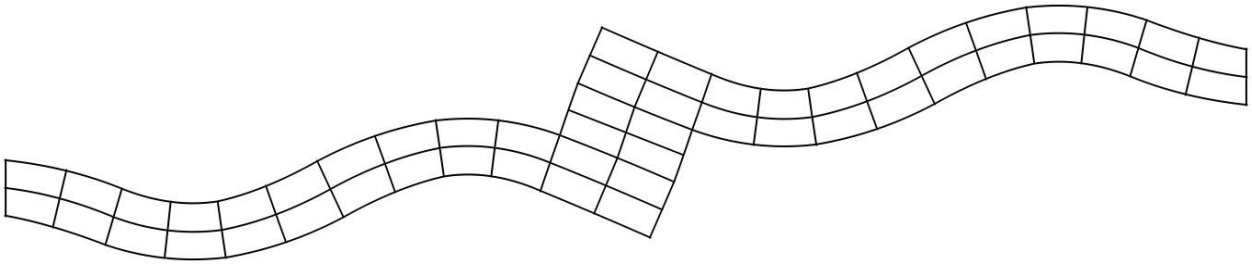


Figure 4 – The fourth eigenmode of the interconnected elements of agricultural transportation device

The fifth eigenmode of vibrations of the interconnected elements of agricultural transportation device is presented in Fig. 5.

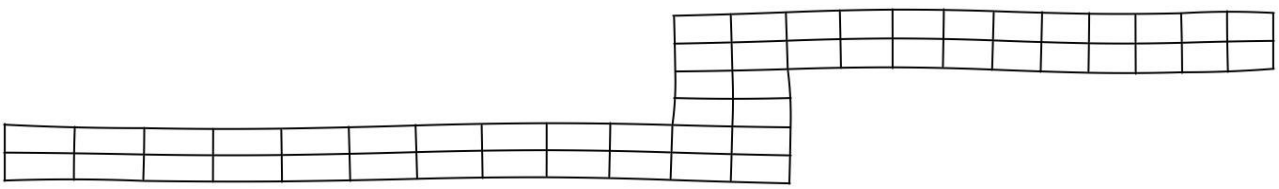


Figure 5 – The fifth eigenmode of the interconnected elements of agricultural transportation device

The sixth eigenmode of vibrations of the interconnected elements of agricultural transportation device is presented in Fig. 6.

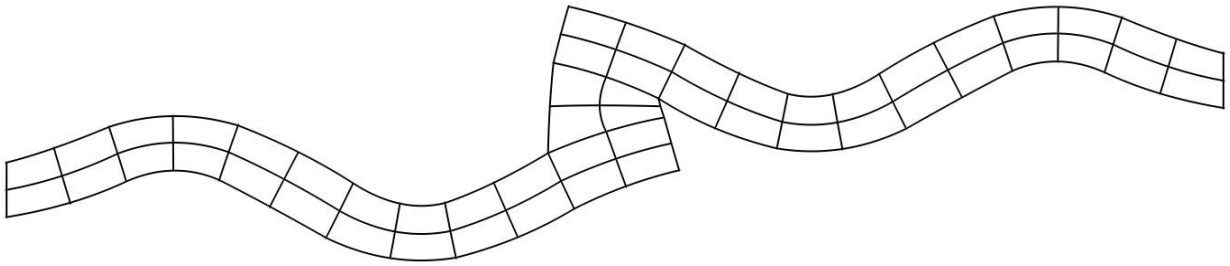


Figure 6 – The sixth eigenmode of the interconnected elements of agricultural transportation device

The seventh eigenmode of vibrations of the interconnected elements of agricultural transportation device is presented in Fig. 7.

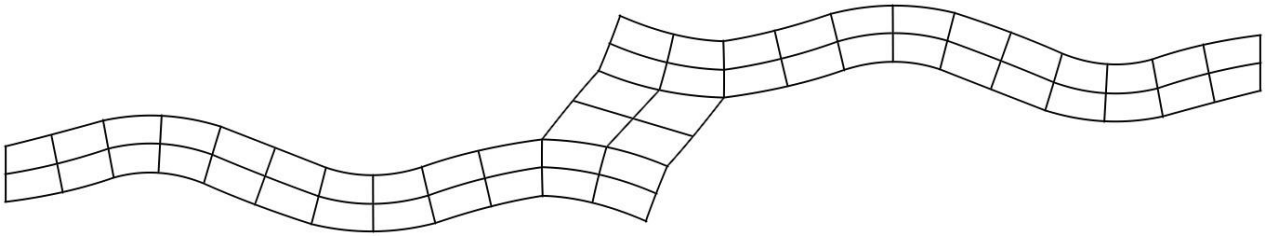


Figure 7 – The seventh eigenmode of the interconnected elements of agricultural transportation device

The eighth eigenmode of vibrations of the interconnected elements of agricultural transportation device is presented in Fig. 8.

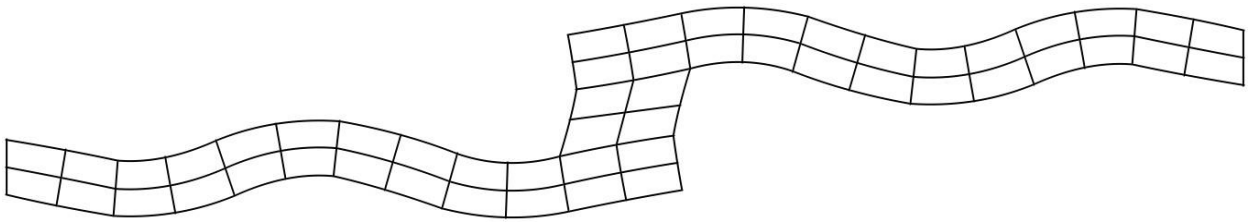


Figure 8 – The eighth eigenmode of the interconnected elements of agricultural transportation device

The ninth eigenmode of vibrations of the interconnected elements of agricultural transportation device is presented in Fig. 9.

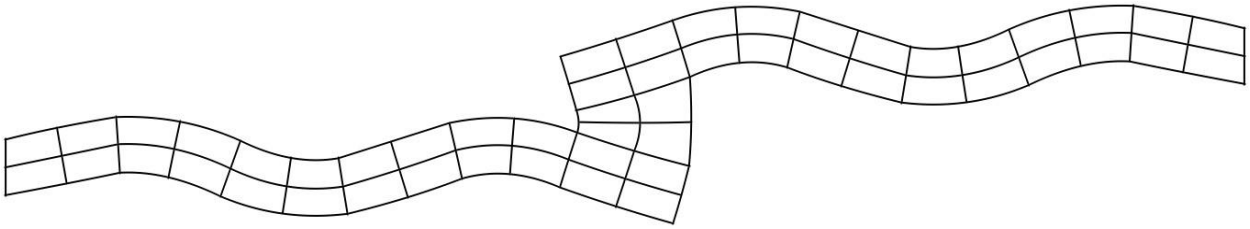


Figure 9 – The ninth eigenmode of the interconnected elements of agricultural transportation device

From the obtained results it is seen that there are eigenmodes in which bending vibrations are observed, while there happen to be eigenmodes in which longitudinal vibrations are observed.

## 4. Conclusions

In agricultural transportation devices the case of the machine consists from interconnected plate type structures. A simplified two dimensional model is investigated in this paper. It is assumed that there are two straight elastic parts interconnected near to their ends by an elastic interconnecting element. The structure is investigated numerically using the method of finite elements.

Eigenmodes of the analyzed element of agricultural transportation device are represented graphically and investigated. From the obtained results it is seen that there are eigenmodes in which bending vibrations are observed, while there are eigenmodes in which longitudinal vibrations are observed.

## 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.

7. Ragulskienė J., Pauliukas A., Paškevičius P., Maskeliūnas R., Maskeliūnas V., Kuzhel V., Ragulskis L. Dynamics of circular element of agricultural transportation device with stiff external circle. Materials of the XVIII International Scientific Practical Conference "Modern Technologies and Prospects of Development of Motor Transport", October 20 – 22, 2025, Vinnytsia, Vinnytsia National Technical University, 2025, p. 416-419.

***Jūratė Ragulskienė*** – Doctor, Associate Professor, Department of Mathematical Modeling, Kaunas University of Technology, e-mail: jurate.ragulskiene@ktu.lt

***Arvydas Pauliukas*** – Doctor, Lecturer, Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Vytautas Magnus University, e-mail: arvydas.pauliukas@gmail.com

***Petras Paškevičius*** – Doctor, Company "Vaivora", e-mail: info@vaivorairko.lt

***Rimas Maskeliūnas*** – Habilitated Doctor, Professor, Department of Printing Machines, Vilnius Gediminas Technical University, e-mail: rimas.maskeliunas@gmail.com

***Vytautas Maskeliūnas*** – Bachelor, Graduate Student, Vilnius Gediminas Technical University, e-mail: vytautas.maskeliunas@stud.vgtu.lt

***Volodymyr Kuzhel*** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Automobiles and transport management department, Vinnytsia National Technical University, e-mail: kuzhel_v@vntu.edu.ua

***Liutauras Ragulskis*** – Doctor, Junior research associate, Department of Systems Analysis, Vytautas Magnus University, e-mail: liutaurasragulskis@gmail.com

***Юрате Рагульскене*** – доктор, доцент кафедри математичного моделювання Каунаського технологічного університету, e-mail: jurate.ragulskiene@ktu.lt

***Арвідас Паулюкас*** – доктор, викладач кафедри інженерії механіки, енергетики та біотехнологій Університету Вітаутаса Великого, e-mail: arvydas.pauliukas@gmail.com

***Пятрас Пашкявічус*** – доктор, компанія «Vaivora», e-mail: info@vaivorairko.lt

***Рімас Маскелюнас*** –доктор, професор, кафедра друкарських машин, Вільнюський технічний університет імені Гедімінаса, e-mail: rimas.maskeliunas@gmail.com

***Вітаутас Маскелюнас*** – бакалавр, аспірант, Вільнюський технічний університет імені Гедімінаса, e-mail: vytautas.maskeliunas@stud.vgtu.lt

***Володимир Кужель*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри управління автомобілями та транспортом, Вінницький національний технічний університет, e-mail: kuzhel_v@vntu.edu.ua

***Люторас Рагульскіс*** – доктор, молодший науковий співробітник, кафедра системного аналізу, Університет Вітовта Великого, e-mail: liutaurasragulskis@gmail.com

UDC 629.113

**Rudyk O., Bachok M., Kobernyk N.**

## USING CAD/CAE SYSTEM SOLIDWORKS FOR AUTOMOTIVE ENGINE REPAIR

*In the SOLIDWORKS CAD/CAE system and its Simulation application define the maximum weight of an engine that can be repaired on a bench with a safety factor of n = 3.*
***Keywords**: stand, plate, SOLIDWORKS Simulation, maximum weight, strength.*

*У CAD/CAE-системі SOLIDWORKS та її додатку Simulation визначена максимальна вага двигуна, який можна ремонтувати на стенд, про коефіцієнті запасу міцності n = 3.*
***Ключові слова**: стенд, пластина, SOLIDWORKS Simulation, максимальна вага, міцність.*

Modern technologies in road transport are based, in particular, on automation systems for engineering calculations (CAE systems – computer-aided engineering) – this is a class of systems, each of which allows solving a specific calculation problem (group of problems), ranging from endurance calculations, analysis and modelling of thermal processes to calculations of hydraulic systems and machines, foundry production processes, etc. CAE systems are used together with CAD systems (creation of drawings and technical documentation for them).

Three-dimensional CAD systems allow to realize the idea of end-to-end cycle of preparation and production of complex industrial products. In this case, hybrid CAD/CAE systems are obtained – software products that allow using calculation methods (finite element method, difference or volume) to assess how the computer model of the product will behave in real operating conditions. These automated design systems not only reduce the time of introduction of new products, but also significantly affect the production technology, allowing to increase the quality and reliability of the developed products [1].

There is no universal configuration of a graphics workstation for optimal work with CAD/CAE applications. Due to the varying complexity of software products, which are abundant on the market, configurations can vary greatly they must be selected individually (for the task). One of the optimal varieties for a higher educational institution is SolidWorks (a full-featured computer-aided design system based on a parametric object-oriented methodology that allows you to obtain a 3D model from a 2D sketch using simple and effective tools).

One of the CAE applications of SOLIDWORKS is SOLIDWORKS Simulation, which allows you to perform: calculations for the strength of parts and assemblies, critical forces and forms of loss of stability, assemblies using contact elements; linear static, frequency, thermal, joint thermostatic analyses; determination of eigenmodes and frequencies; nonlinear calculations; design optimization [2].

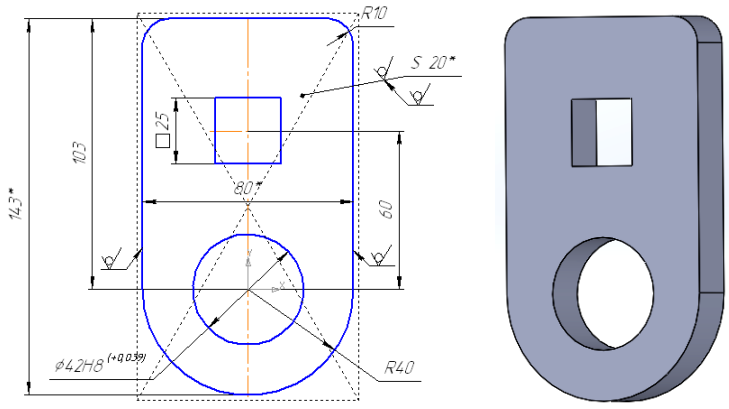
The authors [3] considered the use of SOLIDWORKS on the example of calculating a stand for repairing car engines: they determined the maximum load that the rotating beam of the stand will withstand in the event of a violation of safety precautions during its operation (installing the engine with a skew on one of the ends of the rotating beam).

The authors of [4] tested the static strength of the stand frame: its skewing was assumed due to the loosening of the bolts securing it to the floor. However, to determine the operability of the stand under consideration, it is necessary to examine its other components. Therefore, the task of this study was to determine the maximum force that can be applied to the next stand part – the plate (Fig. 1, a) with an allowable safety factor [n] = 3.

In SOLIDWORKS Simulation, the plate material was assigned: steel 45 DSTU 7809 2015 – analog DIN 1.1191 (C45E) – Fig. 2.

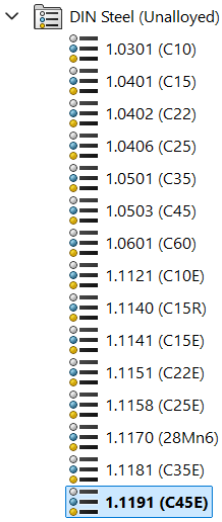
SOLIDWORKS Simulation software, taking into account the connections between elements, develops algebraic equations. They relate the response to the material property, restraint, and load. The result of the static analysis is the stress, displacement, strain, and safety factor fields, the limiting

values of which are shown in Table 1.




a b

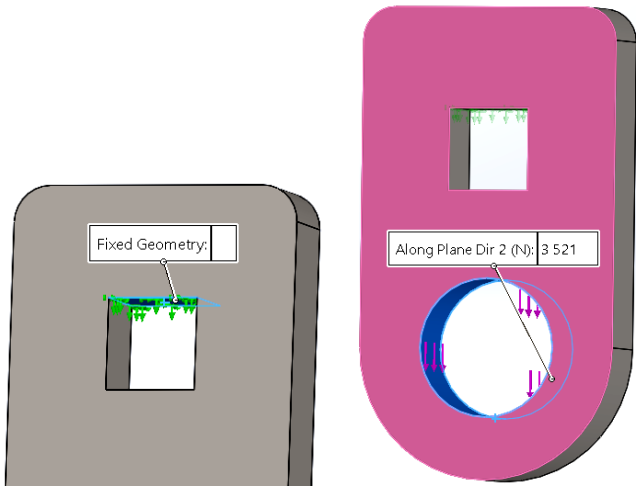
Figure 1 – Assembly drawing of the plate (a) and its 3D model with fixing, load application and mesh display on the solid (b)




| Property | Value | Units |
|---|---|---|
| Elastic Modulus | 2.100000031e+11 | N/m^2 |
| Poisson's Ratio | 0.28 | N/A |
| Shear Modulus | 7.9e+10 | N/m^2 |
| Mass Density | 7800 | kg/m^3 |
| Tensile Strength | 750000000 | N/m^2 |
| Compressive Strength | | N/m^2 |
| Yield Strength | 565000000 | N/m^2 |
| Thermal Expansion Coefficient | 1.1e-05 | /K |
| Thermal Conductivity | 14 | W/(m·K) |
| Specific Heat | 440 | J/(kg·K) |

Figure 2 – Characteristics of C45E steel

The plate model was fixed and the loading area was set (Fig. 3).




a b

Figure 3 – Fixing the plate (a) and applying a load to it (b), – created a finite element model of the plate (Fig. 4).

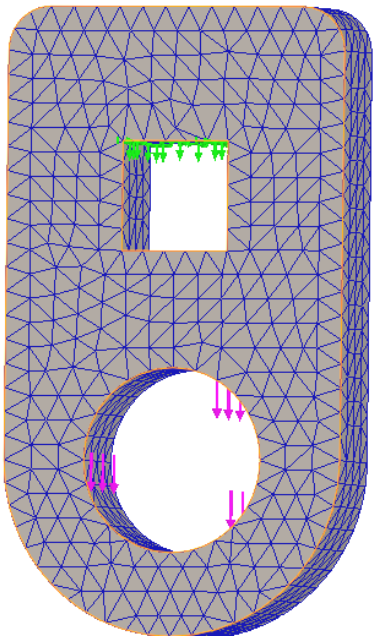
**Mesh information**

| | |
|---|---|
| Mesh type | Solid Mesh |
| Mesher Used: | Standard mesh |
| Automatic Transition: | Off |
| Include Mesh Auto Loops: | Off |
| Jacobian points for High quality mesh | 4 Points |
| Element Size | 5,58436 mm |
| Tolerance | 0,279218 mm |
| Mesh Quality | High |

**Mesh information - Details**

| | |
|---|---|
| Total Nodes | 11593 |
| Total Elements | 7098 |
| Maximum Aspect Ratio | 3,7934 |
| % of elements with Aspect Ratio < 3 | 99,8 |
| Percentage of elements with Aspect Ratio > 10 | 0 |
| Percentage of distorted elements | 0 |
| Time to complete mesh(hh:mm:ss): | 00:00:01 |
| Computer name: | |

a



b

Figure 4 – Mesh parameters (a) and its mapping onto the solid body of the model plate (b)

Table 1 – Results of static analysis of the plate at [n] = 3

| Name | Type | Min. | Maks. |
|---|---|---|---|
| Tension | VON: von Mises Stress | 5,449e+00psi<br>Node: 905 | 2,730e+03psi<br>Node: 8153 |
| Movements | URES: Resultant Displacement | 0,000e+00mm<br>Node: 220 | 2,546e-03mm<br>Node: 61 |
| Deformations | ESTRN: Equivalent Strain | 1,225e-07<br>Element: 2881 | 5,977e-05<br>Element: 3711 |
| Margin of safety | Automatic | 3,002e+01<br>Node: 8153 | 1,504e+04<br>Node: 905 |

According to Table 1, with the planned safety factor n = 3, the plate will withstand a load of 3521 N (359 kg). This regulates the weight of the engines that are planned to be removed from the car.

Thus, using the SOLIDWORKS CAD system and its application - the SOLIDWORKS Simulation CAE system, based on the finite element method, the operability of another part of the studied stand for repairing car engines - the plate - was proven.

Therefore, it is advisable to train highly qualified specialists with the broad involvement of modern CAD/CAE technologies, in particular the SOLIDWORKS system. At the initial stage of training, it is advisable to use the capabilities of this software environment to create three-dimensional parametric models, which allows students to develop basic design and spatial thinking skills. Later, when moving on to the analysis of real engineering structures, it is advisable to use the SOLIDWORKS Simulation module or other specialized applications that provide calculations and research into the behavior of products under the influence of various factors.

Such a sequence of organizing the educational process contributes to a deeper understanding of the principles of design and analysis, allows modeling the operation of structures at a qualitatively new level and combining theoretical knowledge with practical skills. In addition, this approach forms students' readiness to use modern engineering tools, develops their professional competence and ensures adaptation to the requirements of modern high-tech production.

**References**

1. Rudyk O. Yu. SolidWorks – CAD/CAE system of technical universities [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, P. V. Kaplun // Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". – Kharkiv, Ukraine, 2020. – Pp. 249-253. – URL: http://sci-conf.com.ua/ii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-science-society-education-topical-issues-and-development-prospects-20-21-yanvarya-2020-goda-harkov-ukraina-arhiv/

2. Rudyk O. Yu. Combination of education and research based on using CAD/CAE system SolidWorks / O. Yu. Rudyk, V. M. Shevchuk, D. S. Danyuk, I. H. Soroka // Resource-oriented learning in "3D": accessibility, dialogue, dynamics: collection of abstracts of the V International Scientific and Practical Internet Conference (Poltava, February 20–21, 2025). – Poltava: V.G. Korolenko Polytechnic University, 2025. – P. 608-611. – URL: https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1lB7BAXWSPHjrbKeCAy8DW4DDUf0PtGCs

3. Zagoruyko M.V. Using CAD/CAE systems for training specialists / M.V. Zagoruyko, L.V. Borovyk, O.Yu. Rudyk // Modern and historical problems of fundamental and applied mathematical training in higher education institutions: the view of higher education students and young scientists. – Kharkiv: KhNADU, 2019. – P. 97-100. – URL: http://elar.khnu.km.ua /jspui/handle/123456789/8400

4. Rudyk Oleksandr. Application of information technologies for calculation of engine repair stand / Oleksandr Rudyk, Anton Kvasnytskyi, Andriy Podvornyi, Oleksandr Tkachuk // Rozwój nowoczesnej edukacji i nauki – stan, problemy, perspektywy. Tom XVIII: Innowacje metodologiczne w badaniach i nauczaniu: od teorii do praktyki / [Red.: J. Grzesiak, I. Zymomrya, W. Ilnytskyj]. Konin – Użhorod – Przemyśl – Mikołajów: Poswit, 2025. – S. 173-175. – URL: https://elar.khmnu.edu.ua/workspaceitems/23747/edit

***Рудик Олександр Юхимович*** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, e-mail: yuhymovych@gmail.com

***Бачок Максим Олегович*** – магістрант кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, e-mail: bachokm23@gmail.com

***Коберник Назар Іванович*** – магістрант кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, e-mail: nazarkobernik8@ gmail.com

***Rudyk Oleksandr*** – PhD. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, e-mail: yuhymovych@gmail.com

***Bachok Maxym*** – Master's student of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, e-mail: bachokm23@gmail.com

***Kobernyk Nazar*** – Master's student of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, e-mail: nazarkobernik8@gmail.com

UDC 629.113

**Rudyk O., Braslavets M., Tovstiuk D.**

## USING SOLIDWORKS SIMULATION TO INVESTIGATE THE PERFORMANCE OF SPECIAL EQUIPMENT PARTS

*The performance of the shaft-gear of the EK-5/45M excavator turning mechanism was investigated in the SOLIDWORKS system and its Simulation application.*

***Keywords:*** *SOLIDWORKS Simulation, excavator, slewing mechanism, shaft-gear, performance.*

*У системі SOLIDWORKS та її додатку Simulation досліджена працездатність вал-шестерні механізму повороту екскаватора ЕК-5/45М.*

***Ключові слова****: SOLIDWORKS Simulation, екскаватор, механізм повороту, вал-шестерня, працездатність.*

Among the various types of special equipment, a special category of super-heavy machines includes a walking excavator. Such excavators got their name due to the special design of their self-propelled chassis, which is fundamentally different from the traditional wheeled and tracked engines used on this type of special equipment. The use of a walking hydraulic engine makes it possible to reduce pressure on the ground and give the machine even more reliability.

The walking excavator EK-5/45M (often referred to as ESH-6.5/45M) is a full-rotation electric machine with dragline working equipment. It is intended mainly for the extraction of soils with strength up to category IV inclusive when performing overburden works using a non-transport system with the placement of rock in the excavated space or on the quarry side.

Of the mechanisms of a walking excavator, the turning mechanism operates in the most difficult mode, which is designed to make turns for unloading and into the face, as well as for auxiliary turns of the excavator.

The failure of the turning mechanism is also facilitated by: the presence of uncontrolled cyclic load on the kinematic pair "turning wheel crown - drive gear", arising at the moment of acceleration and braking; the presence of dynamic loads during braking, which arise due to moments of inertia, pulsation of the working fluid flow and sudden deceleration;large spread of speed and acceleration of the rotary platform during the cycle; inability to maximize the use of the kinetic energy of the rotating object; high energy intensity per unit of work performed; presence of large values of reactive forces in the mechanism; need for high pressure in the hydraulic drive of the platform rotation; inability to instantly respond to changing loads during acceleration and braking; inability to automatically distribute force in the rotary mechanism.

The main requirement for the electric drive of the slewing mechanism is to ensure the passage of transient processes in the shortest possible time with limited acceleration or deceleration, especially during braking. This requirement is due to the fact that the slewing mechanism operates exclusively in transient processes of starting, reversing and braking, since it has a significant mass, which is several times greater than the flywheel mass of the engine. In addition, due to the presence of large-modulus gearing and large gear ratios, the slewing mechanism has the largest reduced clearance. The absence of elastic couplings leads to the fact that when two electric motors of the rotary mechanism operate on one gear ring, due to the unequal nominal slips of each of them, a deformation moment is formed, which leads to unequal amplitudes and phases of moment fluctuations in time, that is, to significant dynamic loads.

One way to increase the reliability of excavators is to find solutions to reduce the impact of operational loads on machine components, in particular, on the elements of the supporting and rotating device.

The current stage of development of systems for modeling technological processes is

characterized by an increase in their functional saturation. Modeling the processes of operation of excavator components is a complex systemic task, since this system is hierarchical and has a wide range of properties that dynamically change over time.

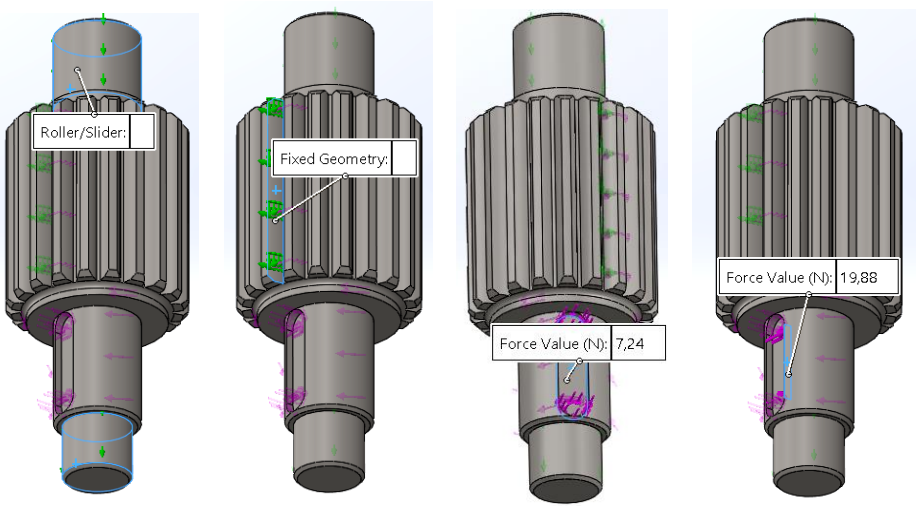
Computer modeling was used for calculations. It considers the stress-strain state of solids using the 3D SOLIDWORKS system [1, 2, 3, 4]. Modern techniques allow building an accurate model of a part and using the finite element method (FEM – [5, 6]) to determine the operational parameters (SOLIDWORKS Simulation application) that arise in it under specific operating conditions [7, 8].

One of the main parts of the EK-5/45M excavator's turning mechanism is the shaft-gear, so we will use SOLIDWORKS Simulation to investigate its performance.

The process begins with creating a geometric model of the shaft-gear in SOLIDWORKS, and in Simulation, static analysis is selected as the type of study of its stress-strain state.

The material of the shaft-gear is 34X2N2M steel, so its analogue – AISI 4340 steel – was selected from the SOLIDWORKS library.

To perform static analysis, the shaft-gear supports were defined and a load was applied to them (Fig. 1).

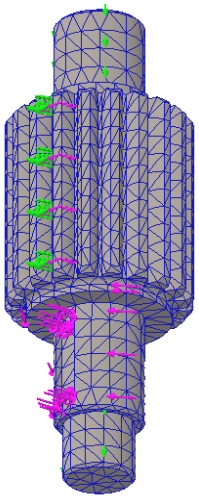



a b c d

Figure 1 – Definition of the shaft-gear supports (a, b) and the application of load to it (c, d)

Division into elements, i.e. construction of a finite element mesh, is the first stage of the calculation (Fig. 2).

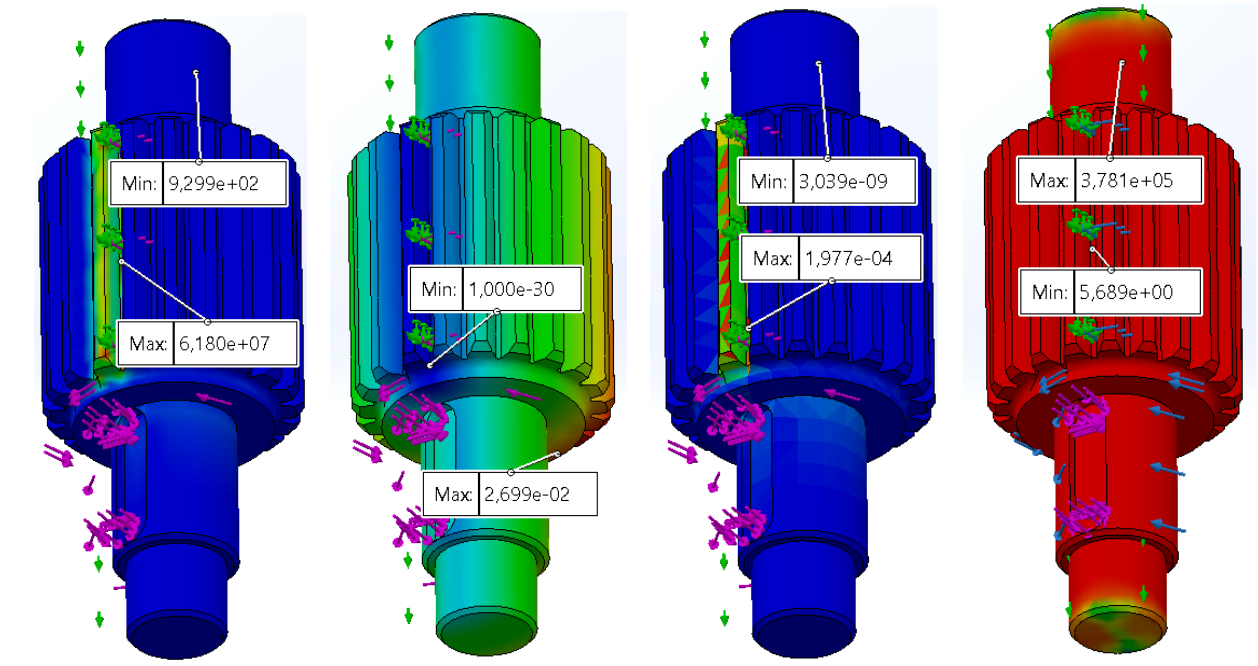
| Details | Mesh type |
|---|---|
| Mesher Used | Standard mesh |
| Automatic Transition | Off |
| Include Mesh Auto Loops | Off |
| Jacobian points for High quality mesh | 4 points |
| Element size | 5,7929 mm |
| Tolerance | 0,289645 mm |
| Mesh quality | High |
| Total nodes | 18137 |
| Total elements | 11445 |
| Maximum Aspect Ratio | 11,741 |
| Percentage of elements with Aspect Ratio < 3 | 88,6 |
| Percentage of elements with Aspect Ratio > 10 | 0,00874 |
| Percentage of distorted elements | 0 |
| Number of distorted elements | 0 |
| Time to complete mesh(hh:mm:ss) | 00:00:03 |



a b

Figure 2 – Mesh parameters of the shaft-gear model (a), its reflection on a solid (b)

The results of the static analysis are displayed as a color gradient, which shows the distribution of the calculated parameters by changing the color (Fig. 3).




a b c d

Figure 3 – Contour plots of total von Mises stresses (a), displacements URES (b), strains ESTRN (c) and safety factor FOS (d) of the shaft-gear model

It is established that for the shaft-gear the maximum nodal Von Mises stresses, displacements URES and equivalent deformation ESTRN are 61.8 MPa (node 12043), 0.02699 mm (node 573), and 0.0001977 mm (element 1862), respectively, i.e. they do not exceed the permissible values. Since the minimum safety margin FOS is n = 5.689 (node 12043), i.e. above the permissible [n] = 1.5, the shaft-gear is serviceable.

Thus, based on the results of the stress-strain state of the shaft-gear after applying a static load, we can speak about the adequacy of the constructed model and the prospects of computer modeling.

Using the virtual model, it became possible to analyze not only the stresses, displacements and equivalent deformations of the shaft-gear, but also its safety margin. Additional advantages of modeling in the SOLIDWORKS Simulation environment are the ease of graphical representation of the results of research on automotive parts.

**References**

1. Rudyk Oleksandr. SolidWorks as an innovative means of researching automotive engineering / O. Rudyk, M. Barnych, O. Humeniuk, V. Shchur // Актуальні проблеми в системі освіти: заклад загальної середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад вищої освіти: зб. наук. праць матеріалів IX Всеукраїнської науково-практичної конференції, 17 лютого 2023 р., м. Київ, Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2023. – С. 130-141. – Режим доступу: https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/APSE/article/view/17688/24992

2. Rudyk O. Investigation of a universal puller of bearings with SolidWorks /O. Rudyk, P. Kaplun, V. Honchar // Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2022: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 18 травня 2022 р.) / Міністерство освіти і науки України, Український державний університет науки і технологій, Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» та ін. – Дніпро : НМетАУ, 2022. – С. 248-251. – Режим доступу: https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/itmm/issue/view/122/91

3. Рудик О. Ю. Інноваційні підходи при викладанні дисциплін автомобільного спрямування / О. Ю. Рудик, О. В. Диха, К. Е. Голенко // «Системні технології» 2 (151) 2024 «System technologies». – С. 144-154. – Режим доступу: https://elar.khmnu.edu.ua/handle/ 123456789/16977

4. Rudyk Oleksandr. Application of innovative technologies when researching the performance of road transport / Oleksandr Rudyk, Roman Kovalenko, Andrii Lavrenchuk, Daniil Hromov // Electronic International Scientific Journal «Actual problems in the system of education: general secondary education institution – pre-university training – higher education institution» (ISSN 2786-5487 online) № 4, 2024. – Pp. 78-90. – URL: https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/APSE/article/view/ 18723/25987

5. Войтюк С. В. Комп'ютерне моделювання пристрою для контролю прогину валів з використанням методу скінченних елементів / С. В. Войтюк, А. В. Красний, О. Ю. Рудик / Фундаментальна основа стратегічно важливих напрямів діяльності ЗВО у творчих математичних здобутках університетської молоді: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених. – Харків: ХНАДУ. – 2025. – С. 157-160. – Режим доступу: https://elar.khmnu.edu.ua/workspaceitems/23746/edit

6. Болюх Д. В. Використання методу скінченних елементів для розв'язання професійно-прикладних задач / Д. В. Болюх, І. С. Максимчук, О. Ю.Рудик // Математичні дослідження здобувачів вищої освіти і молодих учених як підґрунтя технічного та економічного відновлення України: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. – Харків: ХНАДУ, 2024. – С. 149-153. – Режим доступу: https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/16981

7. Rudyk O. Yu. Use of information technology based on SolidWorks Simulation for calculations of automobile repair equipment / O. Yu. Rudyk , S. V. Antoniuk, Yu. A. Korneev // Сучасні світові тенденції розвитку науки, освіти і технологій: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 20 березня 2024 р.): у 2 ч. – Біла Церква: ЦФЕНД, 2024. Ч. 2. – С. 82-84. – URL: https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/16980

8. Rudyk O. Yu. Computer simulation of the electrohydraulic lift with the help SolidWorks Simulation / O. Yu. Rudyk, O. V. Shepilo // The world of science and innovation. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2021. –Pp. 160-167. – URL: https://sci-conf.com.ua/x-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-the-world-of-science-and-innovation-5-7-maya-2021-goda-london-velikobritaniya-arhiv/

***Рудик Олександр Юхимович*** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, e-mail: yuhymovych@gmail.com

***Браславець Микола Костянтинович*** – магістрант кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, e-mail: bkolya36@gmail.com

***Товстюк Дмитро Олександрович*** – магістрант кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, e-mail: dimatovstiuk07@ gmail.com

***Rudyk Oleksandr*** – PhD. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, e-mail: yuhymovych@gmail.com

***Braslavets Mykola*** – Master's student of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, e-mail: bkolya36@gmail.com

***Tovstiuk Dmytro Oleksandrovych*** – Master's student of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, e-mail: dimatovstiuk07@ gmail.com

UDC 629.331:004.8:621-7

**Tytarenko V.Ye., Shumliakivskyi V.P., Shadura V.A., Soroka O.R.**

## THE APPLICATION OF VIBRATION DIAGNOSTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN VEHICLE OPERATION

*Дослідження стосуються обґрунтування можливості поєднання сучасних технологій вібродіагностики з надбаннями штучного інтелекту для покращення оперативності та об'єктивності вирішення ряду проблемних задач експлуатації автомобілів.*

***Ключові слова:*** *технології вібродіагностування, штучний інтелект, проблемні задачі експлуатації автомобіля, залишковий ресурс, небезпечні вібраційні процеси, оптимізація руху*

*The study aims to substantiate the feasibility of integrating modern vibration diagnostics technology with artificial intelligence to enhance efficiency and objectivity in addressing several operational problems associated with vehicle use.*

***Keywords:*** *vibration diagnostics technology, artificial intelligence, vehicle operation challenges, remaining service life, hazardous vibration processes, traffic optimization.*

The integration of artificial intelligence with vibration diagnostics technology will enable automation of many tasks related to the operational use of automobiles. For example, such tasks include: determining the remaining service life of parts, assemblies, and systems to establish maintenance (M) and vehicle repair schedules; optimizing vehicle operating modes on uneven roads to ensure a comfortable ride smoothness with minimal dynamic loads, and monitoring vehicle vibration processes to prevent vibrations that may be hazardous to humans. Many other tasks are based on the use of vibration diagnostic indicators as a comprehensive integrated measure to evaluate the technical condition of individual vehicle components and the vehicle system as a whole.

This study aims to generalize the results of scientific research conducted at the Department of Automobile and Transport Technologies at Zhytomyr Polytechnic over a certain period and published in modern scientific journals to enable their further application to modern artificial intelligence technologies to address several problematic tasks related to the operational use of vehicles. The research was carried out by students while completing their master's theses. It was established [1] that vibration diagnostics is a relevant field of science that is increasingly used to assess the technical condition of motor vehicles (MV), gradually transforming into a continuous process for evaluating the residual life of components and the vehicle. As noted in [2], many researchers (H.V. Kramarenko, M.V. Diachuk, B.V. Pavlov) have demonstrated that a vibration diagnostic parameter can serve as a comprehensive integrated indicator for assessing the technical condition of units, assemblies, and the vehicle as a whole. This parameter reflects changes in the dimensions of mechanical joints caused by frictional wear of surfaces, as well as variations in the stiffness and elasticity characteristics of vehicle parts. Therefore, it can be used to estimate the remaining service life of vehicle components. It was also proved [1] that it is possible to prevent the negative impact of vibrations generated during vehicle operation on both the driver (operator) and passengers by avoiding dangerous oscillatory processes. This direction also contributes to solving a complex environmental problem. Vibration diagnostics, like other methods of technical diagnostics, are intended to detect faults and assess the technical condition of the objects under study through the use of onboard computer monitoring and Diagnostic systems (BCMDS) of a vehicle [3]. This system makes it possible to accumulate information about the operating parameters of vehicle units and components in a database stored in non-volatile memory for real-time operational use. To estimate the vibration process during vehicle operation, comparative information based on vibration parameters is transmitted to the driver or to the operator of a diagnostic center, who then makes corrective decisions. Within the structure of the onboard monitoring and diagnostic system, ADXL204-type accelerometers [3] were used to record the parameters of vibration

processes of motor vehicles, which also ensured the possibility of accumulating information for forecasting maintenance and repair. It was also proved that, based on the collection and processing of accelerometer data [4], vehicle driving modes can be optimized to ensure a comfortable ride, smoothness, stability, and reduce dynamic loads when driving on uneven roads. This approach addresses the problem of comfort in the operational use of vehicles providing passenger transportation services. To ensure the continuity of information flows regarding the technical condition of vehicle components or other operational issues, automation of information transmission systems is essential. Such information can be effectively achieved through the application of artificial intelligence technologies. The combination of vibration diagnostics technologies within an artificial intelligence system expands the possibilities for deeper analysis and forecasting, which is essential for minimizing both technical and economic risks. At the same time, as noted in [5], modern research in the field of automotive technologies, particularly the application of artificial intelligence and predictive analytics, ensures the prediction of potential failures with an accuracy of up to 85%, as confirmed by empirical studies [6–8]. This contributes to the implementation of a preventive approach to maintenance and a reduction in accident rates. Promising trends indicate the development of self-diagnostic systems.

Thus, the automation of solving problem tasks that arise during the operation of motor vehicles in a continuous mode becomes possible through the use of artificial intelligence. In this case, decisions based on the comparison of the actual values of the comprehensive integral vibration indicator with the scale of its values corresponding to different technical states are made not by the subjective operator of a diagnostic center, but by the objective capabilities of artificial intelligence within the On-Board Self Diagnostics System (OBSDS). This reduces risks and increases the efficiency and promptness of solving operational problems. Based on the above, we finally conclude that the integration of modern vibration diagnostics technologies with the capabilities of artificial intelligence represents a promising and expedient direction for improving vehicle design, considering the vehicle as a self-recovering system.

**References**

1. Зенков Я.С., Мироненко В.О. Вібродіагностика в технологіях технічного обслуговування та поточного ремонту автомобіля. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. Житомир, 14-16 травня 2014 , том 1, С.127.

2. Титаренко В.Є., Шумляківський В.П. Вібродіагностика в системі технічного обслуговування автомобіля. Вісник Житомирського державного університету, №2(69)-2014, С.190-197.

3. Титаренко В.Є., Ковальчук А.В. Технології вібродіагностики в бортовій системі контролю та діагностики автомобіля. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. Житомир, 13-14 травня 2015, том 1, С.44-45.

4. Титаренко В.Є., Шумляківський В.П., Балагуц І.А. Система взаємодії автомобіля із дорожнім полотном в інтелектуальній транспортній системі. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. Житомир, 13-14 травня 2015 , том 1, С.46.

5. Головіна О.В., Холодний Ю.Ф., Строков О.П., Жовтобрюх В.О. Дослідження впливу якості діагностування і ремонту електронних систем на подальшу технічну експлуатацію автомобіля. Вісник ХНТУ №1(92), Ч.1, 2025, С.57-62.

6. M. Kathiresh, R. Neelaveni, M. Adwin Benny & B. Jeffrin Samuel Moses. Vehicle Diagnostics Over Internet Protocol and Over-the-Air Updates. Book series EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. 2021. Chapter First Online: 25 April 2021. pp. 89-100. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-59897-6_5.

7. Kathiresh M., Neelaveni R., Adwin Benny M., Jeffrin Samuel Moses B. Virtual ECU Development for Vehicle Diagnostics Software Testing using UDS Protocol. Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON). 2021.

DOI: https://doi.org/10.1109/ASIANCON51346.2021.9544542.

8. Cheng Y., Porpora F., D'Arpino M., Rizzoni G. Cost analysis in different battery pack architectures considering protection, monitoring, and diagnostics. IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC). 2021.
DOI: https://doi.org/10.1109/ITEC51675.2021.9490170.

***Титаренко Володимир Євгенійович*** – кандидат технічних наук, доцент, викладач вищої категорії відокремленого структурного підрозділу Житомирського автомобільно-дорожнього фахового коледжу Національного транспортного університету, м. Житомир, e-mail: Voldtit@gmail.com.

***Шумляківський Володимир Петрович*** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: shumliakivskyiv@ztu.edu.ua https://orcid.org/0000-0002-5418-4736.

***Шадура Валентина Анатоліївна*** – старший викладач кафедри теоретичної та прикладної лінгвістики Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: valteach8@gmail.com ORCID ID 0000-0003-2635-7211

***Сорока Олександра Русланівна*** – студентка Державного університету «Житомирська політехніка», спеціальність: прикладна лінгвістика. e-mail: alexandra1997sor@gmail.com

***Tytarenko Volodymyr Yevheniyovych*** – 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.

***Shumliakivskyi Volodymyr Petrovych –*** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Road Transport of the Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, e-mail: shumliakivskyiv@ztu.edu.ua https://orcid.org/0000-0002-5418-4736.

***Shadura Valentyna Anatoliivna*** – Senior Lecturer of the Department of Theoretical and Applied Linguistics Zhytomyr Polytechnic State University, e-mail: valteach8@gmail.com ORCID ID 0000-0003-2635-7211

***Soroka Oleksandra Ruslanivna*** – student of the Zhytomyr Polytechnic State University, Field of study: Applied Linguistics, e-mail: alexandra1997sor@gmail.com

УДК 629.3.016.8

**Андрусенко С.І., Будниченко В.Б., Подпіснов В.С.**

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЄМНОСТІ ТЯГОВОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

*Дослідження запропонованої математичної моделі енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї дозволить застосовувати уніфікований підхід до обгрунтування її параметрів виробниками транспортних засобів категорії $M_3$, класу I для участі в тендерних процедурах оновлення парку рухомого складу комунальними підприємствами міського електричного транспорту.*

***Ключові слова:*** *математична модель, енергетична ємність, тягова акумуляторна батарея, ресурс, транспортний засіб, питома витрата енергоносія.*

*The analysis of the proposed mathematical model for determining the energy capacity of a traction battery enables the use of a standardized approach to justify its key parameters by manufacturers of Class I, Category M3 vehicles when participating in public procurement tenders for fleet renewal conducted by municipal urban electric transport operators.*

***Keywords:*** *mathematical model, energy capacity, traction battery, service life, vehicle, specific energy consumption.*

На даний час не існує стандартизованої методики обгрунтування енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї (далі – ТАБ), яка забезпечує вимоги до довжини ділянки автономного ходу (далі – АХ) без живлення від контактної мережі транспортного засобу категорії $M_3$, класу I під час здійснення перевезень пасажирів у містах України.

Вирішення завдання обгрунтування енергетичної ємності ТАБ для заданих замовником умов руху АХ чи вимог до ТАБ вимагає розроблення математичних моделей, які описують на одному математичному рівні взаємозв'язки між регламентованими умовами руху чи вимогами до ТАБ та її енергетичною ємністю.

Наявність математичної моделі енергетичної ємності ТАБ дозволяє знизити ступінь ризику невідповідності застосованої на транспортному засобі ТАБ щодо забезпечення АХ для заданих споживачем умов її експлуатації.

Аналіз вимог тендерної документації на придбання нових транспортних засобів дозволив виявити декілька можливих варіантів вимог до ТАБ, які були регламентовані їхнім замовником.

Найбільш поширеним варіантом регламентування вимог до ТАБ є задана довжина ділянки АХ та ресурс роботи батареї, заданий як кількість років. Такий підхід замовника транспортного засобу пов’язаний з великою вартістю ТАБ і його бажанням зменшити витрати на експлуатацію транспортного засобу. Математична модель енергетичної ємності ТАБ для цього випадку подана в роботі [1] і має такий вигляд:

$$T_e = \frac{Ц_н}{\left(\left(\frac{L_д}{L_m}+1\right)\cdot p_{др}+\left(\frac{0{,}5L_д}{L_m}+1\right)p_{ор}\right)n_{рд}}, \quad (1)$$

де $Ц_н$ – унормована кількість циклів «Р-З» для елемента батареї, яка визначена нормативним документом залежно від його типу, наприклад технічними умовами на ТАБ;

$L_д$ – пробіг транспортного засобу за добу, км;

$L_m$ – довжина одного оборотного рейсу на маршруті, км;

$p_{др}$, $p_{ор}$ – частка двох- та однозмінних режимів роботи відносно кількості діб використання транспортного засобу на маршруті за рік ($p_{др} + p_{ор} = 1$);

$n_{рд}$ – кількість діб використання транспортного засобу на маршруті за рік.

Зазначимо, що фактично енергетична ємність ТАБ вибирається з запасом, щоб

урахувати щорічну втрату енергетичної ємності ТАБ, і тому тільки в останній рік експлуатації один оборотний рейс буде означати один цикл «Р-З», а в перший та інші роки – лише меншу частину робочого циклу, яка визначається залежно від щорічної втрати ємності.

Щоб урахувати це, необхідно ввести уточнення в отриману математичну модель для обчислення ресурсу ТАБ, а саме:

$$T_e^{os} = \frac{T_e}{((1-b/100)^{T_e-1})} \quad (2)$$

де $T_e^{os}$ – уточнений ресурс ТАБ, роки;

$b$ – щорічний відсоток втрати енергетичної ємності ТАБ, %.

Застосування математичної моделі (2) для визначення ресурсу ТАБ потребує додаткового запиту до замовника транспортного засобу на надання інформації щодо запланованих значень показників $L_д$, $L_m$, $р_{др}$, $р_{ор}$, $n_{рд}$.

Наявні випадки, коли в тендерній документації на придбання нового рухомого складу ресурс ТАБ зазначають як кількість циклів, яку має відпрацювати ТАБ на визначеному замовником маршруті. Враховуючи це, нами пропонується застосувати математичну модель для визначення її ресурсу.

У разі регламентування замовником ресурсу ТАБ як кількості циклів «Р-З», для його підтвердження необхідно визначити енергетичну ємність, яка буде забезпечувати цей ресурс.

Загальну енергетичну ємність ТАБ, яка забезпечує задану кількість циклів її роботи, можна обчислити так:

$$E_{ТАБ} = e_c \cdot \frac{L_{AX}}{k_m \cdot D_{\%}} /100, \quad (3)$$

де $D_{\%}$ – відсоток енергетичної ємності робочого діапазону від загальної енергетичної ємності ТАБ;

$e_c$ – питома витрата енергоносія, що визначена за показниками лічильника постійного струму тролейбуса під час використання за призначенням, кВт·год/км;

$L_{AX}$ – довжина АХ, км;

$k_m$ – коефіцієнт відношення мас тролейбуса, для якого було визначено питоме споживання енергоносія під час використання за призначенням, і тролейбуса, який планується для використання.

Ця математична модель може бути застосована, коли в експлуатації вже перебувають транспортні засоби, що мають функцію АХ. Тоді учасник тендеру повинен виконати попередні дослідження для визначення питомої витрати енергоносія на ділянці АХ, де передбачається експлуатація нового типу транспортного засобу.

Існують ще випадки, коли в тендерній документації зазначено:

– довжину АХ ділянки маршруту;

– статистичні дані про витрати енергоносія та транспортну роботу, зокрема пробіг та кількість перевезених пасажирів за певний період часу;

–відсоток навантаги пасажирами транспортного засобу.

Тоді енергетична ємність ТАБ, яка буде задовольняти вимогам замовника, може бути визначена так:

$$C_{ТАБ} = \max \begin{cases} \frac{e_{ср} \cdot L_{AX}}{k_{РД}} \\ \frac{e_{max} \cdot L_{AX}}{k_{КД}} \end{cases}, \quad (4)$$

де $k_{РД}$ – частка робочого діапазону ТАБ у її загальній енергетичній ємності;

$k_{КД}$ – частка критичного діапазону ТАБ у її загальній енергетичній ємності, перевищення якої призводить до відмови траспортного засобу;

$e_{ср}$ – середнє значення питомої витрати енергоносія згідно з наданими статистичними даними замовника транспортного засобу;

$e_{max}$ – максимальне значення питомої витрати енергоносія, обчислене згідно з наданими статистичними даними замовника транспортного засобу за методикою ДСТУ ISO 2602 [2].

Значення показників $k_{РД}$, $k_{КД}$ визначає учасник тендеру на підставі технічних характеристик застосованої ним ТАБ у тому типі транспортного засобу, що запропонований замовнику.

**Список використаних джерел**

1. Будниченко В.Б., Харламов С.А. Оптимізація енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї для електробуса. *Міжнародна конференція «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин» (Київ, 16-17 листопада 2022 р.)*. Тези доповідей. Київ : НТУ, 2022. С. 92-95. URL: https://drive.google.com/file/d/1cCG4qaPx9woYWu3QzfGqgSvXaSpeDZU/view (дата звернення: 13.02.2026).

2. ДСТУ ISO 2602:2006. Подавання результатів випробування статистичне. Оцінювання середнього значення. Довірчий інтервал (ISO 2602:1980, IDT). [Чинний від 2007-10-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2006. 6 с.

***Андрусенко Сергій Іванович*** – канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 410А, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com).

***Будниченко Валерій Борисович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 410, e-mail: budnvb@i.ua).

***Подпіснов Владислав Сергійович*** – старший викладач кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 410, e-mail: vpodpisnov@ukr.net).

***Andrusenko Serhii*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Professor, Head of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410A, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com).

***Budnychenko Valerii*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, e-mail: budnvb@i.ua).

***Podpisnov Vladyslav*** – Senior Lecturer of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410A, e-mail: vpodpisnov@ukr.net).

УДК 338.47.656

**Антонюк О.П.**

# МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НОРМ ВИТРАТ АВТОМОБІЛЬНИХ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОБУСІВ

*Розглянуто проблематику нормування витрат автомобільних запасних частин при експлуатації автобусного парку в умовах сучасних автотранспортних підприємств. Проаналізовано існуючі підходи до формування норм витрат, зокрема укрупнені та номенклатурні методи, та визначено їх ключові недоліки. Встановлено, що традиційні підходи не забезпечують необхідного рівня точності через ігнорування впливу пробігу, інтенсивності використання рухомого складу та сезонності експлуатації.*

*Запропоновано математичну модель нормування, яка базується на використанні середніх питомих витрат і враховує зміну технічного стану автобусів у процесі експлуатації. Обґрунтовано доцільність використання статистичних даних ERP-систем для підвищення достовірності розрахунків. Розглянуто механізм оцінювання похибки нормування та формування страхового фонду як інструменту компенсації невизначеності. Практична значущість результатів полягає у підвищенні ефективності управління запасами та зниженні витрат автотранспортних підприємств.*

***Ключові слова:*** *нормування, запасні частини, автобусний парк, математична модель, експлуатація, пробіг, сезонність, ERP-система, витрати, логістика.*

*The paper addresses the issue of standardizing the consumption of automotive spare parts during the operation of a bus fleet under the conditions of modern motor transport enterprises. Existing approaches to the formation of consumption norms, in particular aggregated and itemized (nomenclature-based) methods, are analyzed, and their key shortcomings are identified. It is established that traditional approaches do not provide the required level of accuracy due to neglecting the influence of mileage, the intensity of vehicle utilization, and seasonal operating conditions.*

*A mathematical model for standardization is proposed, which is based on the use of average specific consumption rates and takes into account changes in the technical condition of buses during operation. The expediency of using statistical data from ERP systems to improve the reliability of calculations is substantiated. The mechanism for assessing the standardization error and the formation of a safety stock as a tool for compensating uncertainty is considered. The practical significance of the results lies in improving inventory management efficiency and reducing costs of motor transport enterprises.*

***Key words:*** *standardization, spare parts, bus fleet, mathematical model, operation, mileage, seasonality, ERP system, costs, logistics.*

Ефективна експлуатація автобусного парку безпосередньо залежить від якості організації технічного обслуговування та забезпечення запасними частинами. Недостатня точність нормування призводить до виникнення двох критичних проблем: накопичення надлишкових запасів (неліквідів) та дефіциту необхідних комплектуючих.

Як свідчать результати досліджень [1-3], значна частина оборотних коштів автотранспортних підприємств використовується неефективно через помилки в нормуванні запасних частин. Водночас відсутність необхідних деталей призводить до тривалих простоїв автобусів у ремонті, що негативно впливає на показники діяльності підприємства.

Ситуація ускладнюється переходом до використання аутсорсингових логістичних рішень, зокрема консигнаційних складів, що змінює підходи до управління запасами. У таких умовах особливої актуальності набуває підвищення точності планування витрат на запасні частини.

Організаційні особливості забезпечення запасними частинами. Процес забезпечення автотранспортного підприємства запасними частинами є складною багаторівневою системою взаємодії різних служб: ремонтного персоналу; механіків; менеджерів складів; служби постачання; фінансового підрозділу.

Потреба у запасних частинах формується у момент досягнення точки замовлення, після чого відповідні заявки передаються до служби постачання, де відбувається їх агрегування та формування партії закупівлі. Такий підхід має суттєвий недолік – він базується на застарілих нормативних даних і не враховує динаміку експлуатації, [5-7].

Аналіз існуючих методів нормування. У сучасній практиці застосовуються два основні підходи, див. таблицю 1. Укрупнені норми визначають витрати запасних частин у вартісному вираженні з розрахунку на 1000 км пробігу транспортного засобу. Вони мають назву «укрупнені», оскільки встановлюються для автомобіля в цілому як єдиного об'єкта. За потреби такі норми можуть бути деталізовані за основними агрегатами та вузлами транспортного засобу. У цьому випадку їх визначають не у вартісному, а в натуральному вираженні.

Подібна деталізація є необхідною для обґрунтованого розрахунку мінімально допустимого (незнижуваного) запасу оборотних агрегатів і вузлів у ремонтній зоні автотранспортного підприємства. Прикладом нормативного документа, що регламентує укрупнені норми витрат у натуральному вираженні для таких компонентів, як двигуни, коробки передач, ведучі мости та елементи рульового керування, є Положення про технічне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту. Укрупнені норми відзначаються простотою застосування, оскільки не потребують від підприємства складної системи обліку використання матеріальних ресурсів.

Інший підхід до нормування витрат запасних частин полягає у визначенні номенклатурних норм. На відміну від укрупнених, ці норми встановлюються в натуральному вираженні для кожної окремої номенклатурної позиції, що обліковується на основному або оборотному складі матеріальних ресурсів автотранспортного підприємства.

Порівнюючи характеристики та недоліки способів нормування, наведених у таблиці 1, математичне моделювання норм витрат запасних частин для автобусів ґрунтується на використанні укрупнених норм. Запропоновано здійснювати нормування витрат запасних частин шляхом визначення середніх питомих витрат для цього виду матеріальних ресурсів для автобусів відповідної марки та моделі, що дозволяє врахувати реальні умови експлуатації автобусів. Норма витрат визначається за формулою:

$$Q^{H}_{з.ч.} = 1000 \cdot \frac{\overline{E_{if}}}{\overline{S_{if}}}, \qquad (2.1)$$

де $\overline{E_{if}}$ – середні витрати на запасні частини для автобусів відповідної марки та моделі в і-й групі пробігу протягом f-го сезону експлуатації, тис. грн;

$\overline{S_{if}}$ – середній пробіг автобусів заданої марки та моделі для і-ї категорії пробігу за f-й сезон експлуатації, км.

Нормативні експлуатаційні витрати на запасні частини визначаються шляхом підсумовування норм їх споживання з урахуванням зміни пробігу автобусів від початку експлуатації, а також сезонних умов використання протягом розрахункового періоду. Нормативні витрати розраховуються за формулою:

$$З^{H}_{з.ч.} = \frac{\sum_{f=1}^{4}\sum_{i=1}^{5}\overline{E_{if}} \cdot \overline{S_{if}}}{1000}, \qquad (2.2)$$

де 4 – кількість сезонів експлуатації.

Витрати на запасні частини для автобусів відповідної марки та моделі, диференційовані за групами пробігу та сезонами експлуатації, є статистичними даними, що накопичуються в базах даних ERP-систем автотранспортного підприємства.

Таблиця 1 – Характеристика методів визначення потреби в запасних частинах для автобусів

| № | Метод нормування | Особливості | Недоліки |
|---|---|---|---|
| 1 | Укрупнені норми | - визначаються у грошовому вираженні (грн/1000 км);<br>- прості у використанні;<br>- не потребують складної системи обліку. | - відсутня потреба у складній системі обліку;<br>- низька трудомісткість розрахунків у межах функціонування діючої ERP-системи |
| 2 | Номенклатурні норми | - визначаються у натуральному вираженні;<br>- дозволяють деталізувати витрати;<br>- потребують значного обсягу статистичних даних. | - необхідність наявності апріорної інформації щодо витрат запасних частин в умовах експлуатації автобусного парку. |

У практиці функціонування пасажирських автотранспортних підприємств відповідність між плановими та нормативними витратами запасних частин рідко досягає значення 1,0. Це свідчить про те, що нормування, виконане із застосуванням запропонованої математичної моделі, не є абсолютно точним. Для оцінювання достовірності встановлених норм доцільно використовувати показник похибки нормування. У відносному вираженні він характеризує ступінь перевищення фактичних витрат на запасні частини над їх нормативним значенням за розрахунковий період. Для оцінювання ефективності моделі показник похибки визначається за формулою:

$$\delta = \frac{З^{З.Ч.}_{Факт.if}}{З^{З.Ч.}_{Н}}, \tag{2.3}$$

$З^{З.Ч.}_{Факт.if}$ - фактичні витрати на запасні частини за розрахунковий період для автобусів відповідної марки та моделі і-ї групи пробігу в f-му сезоні експлуатації, тис. грн.

Допустиме значення похибки нормування не повинно перевищувати граничного рівня статистичної похибки, який приймається на рівні 5%. Зменшення похибки нормування досягається шляхом скорочення періоду планування, наприклад, переходом від квартального до місячного або декадного інтервалу.

Разом із тим надмірне зменшення планового періоду (до рівня змін або діб) є недоцільним, оскільки це призводить до зростання навантаження на ERP-систему автотранспортного підприємства під час передачі, обробки та аналізу статистичних даних, що може негативно вплинути на стабільність її функціонування та збільшити ймовірність збоїв.

Для компенсації похибки нормування доцільно передбачати створення страхового фонду в бюджеті автотранспортного підприємства, розмір якого визначається за відповідною розрахунковою формулою:

$$Ф = З^{З.Ч.}_{Н} \cdot \delta. \tag{2.4}$$

На основі запропонованої математичної моделі формується квартальний план постачання запасних частин. Основним параметром такого плану є обсяг складського запасу, який визначається як сукупні нормативні витрати на запасні частини для автобусного парку за квартал із урахуванням страхового фонду:

$$П = \sum_{i=1}^{d} З^{З.Ч.}_{Нi} \cdot n_i + Ф, \tag{2.5}$$

$d$ - кількість експлуатованих марок і моделей автобусів, од.

Використання розглянутої моделі забезпечує: зменшення кількості неликвідних запасів; підвищення коефіцієнта технічної готовності; покращення фінансових показників підприєм-

ства. Крім того, впровадження моделі сприяє цифровізації управління запасами за рахунок інтеграції з ERP-системами.

**Висновок.** Розглянута математична модель нормування витрат запасних частин дозволяє враховувати ключові фактори експлуатації автобусів, зокрема пробіг і сезонність. Її застосування забезпечує підвищення точності планування та ефективності використання ресурсів.

Використання страхового фонду дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з похибками нормування, а інтеграція з ERP-системами - забезпечує адаптивність моделі до змінних умов експлуатації.

**Список використаних джерел**

1. Біліченко В. В., Антонюк О. П. Обґрунтування критеріїв оцінки ефективності вибору запасних частин, що зберігаються на складі АТП // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 2 (77). – С. 56–61.
2. Бойчик І. М. Економіка підприємства : підручник. – Київ : Кондор, 2016. – 378 с.
3. Босняк М. Г. Пасажирські автомобільні перевезення : навч. посіб. – Київ : Видавничий дім «Слово», 2009. – 272 с.
4. Гринько В. В. Впровадження сучасних технологій у системи логістичного менеджменту // Транспортні системи та технології. – 2020. – № 2 (12). – С. 45–53.
5. Кравченко О. П., Верітельник Є. А. Визначення необхідності зберігання запасних частин на складі автотранспортного підприємства // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 2 (219). – С. 86–90.
6. Литвишко Л. О. Організація постачання запасними частинами об'єктів автотранс-портних систем // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – № 21(1). – С. 376–378.
7. Лукінський В. С., Бережний В. І., Бережна Є. В. Логістика автомобільного транспорту: навч. посіб. – Харків : Фінанси та статистика, 2014. – 368 с.
8. Осадчий М. М., Степашко І. О., Павленко В. М. Аналіз підходів до керування терміном експлуатації автомобіля // Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 23–25 жовтня 2023 р.). – Харків, 2023. – С. 72.
9. Шинкаренко М. І. Сучасні методи моніторингу транспорту та їх вплив на ефективність логістичних операцій // Проблеми транспорту. – 2021. – № 5 (17). – С. 112–119.

***Антонюк Олег Павлович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, e-mail: antonuk@vntu.edu.ua).

***Oleh Pavlovych Antoniuk*** – PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Politekhnichna St., e-mail: antonuk@vntu.edu.ua).

УДК 629.33:519.8

**Артюх О.М.**

# ІНТЕГРОВАНІ СТРАТЕГІЇ КЕРУВАННЯ КОМБІНОВАНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ УСТАНОВКАМИ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

*Проведено комплексне дослідження інтегрованих стратегій керування енергопотоками (EMS) для гібридних транспортних засобів. Детально проаналізовано застосування методів нелінійної оптимізації, глибокого навчання з підкріпленням та багатоагентних систем. Особливу увагу приділено адаптації алгоритмів до невизначеності маси автомобіля та складних дорожніх умов. Доведено, що впровадження прогностичних моделей дозволяє знизити витрати палива на 15–20%.*

***Ключові слова:*** *комбінована енергетична установка, HEV, PHEV, стратегія керування енергією, глибоке навчання з підкріпленням, нелінійна оптимізація, еко-водіння.*

*The paper presents a comprehensive study of integrated energy management strategies (EMS) for hybrid vehicles. The application of nonlinear optimization methods, deep reinforcement learning, and multi-agent systems is analyzed in detail. Special attention is paid to the adaptation of algorithms to vehicle mass uncertainty and complex road conditions. It is proved that the implementation of predictive models allows reducing fuel consumption by 15–20%.*

***Keywords:*** *combined power unit, HEV, PHEV, energy management strategy, deep reinforcement learning, nonlinear optimization, eco-driving.*

**Актуальність дослідження**

Глобальна трансформація транспортного сектору, спрямована на декарбонізацію та підвищення енергоефективності, висуває нові вимоги до конструкції та систем керування сучасних автомобілів. У цьому контексті комбіновані енергетичні установки (КЕУ) займають проміжну, але критично важливу нішу між традиційними автомобілями з ДВЗ та повністю електричним транспортом. Ефективність функціонування гібридних (HEV) та плагін-гібридних (PHEV) систем безпосередньо залежить від інтелектуального рівня стратегій керування енергопотоками (Energy Management Strategy – EMS).

Для України, де експлуатація транспортних засобів відбувається в умовах нестабільної якості дорожнього покриття, значних перепадів висот та нерівномірного міського трафіку, розробка адаптивних EMS є питанням не лише екології, а й економічної безпеки перевізників. Фундаментальним завданням сучасної науки є перехід від статичних, заснованих на правилах алгоритмів, до динамічних систем, що базуються на прогнозному моделюванні та штучному інтелекті.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Світові тренди 2025–2026 років, зафіксовані у провідних виданнях (IEEE Xplore, ScienceDirect, SAE International), демонструють різке зростання інтересу до методів машинного навчання [1-15]. Раніше домінуючі стратегії, такі як мінімізація еквівалентних витрат палива (ECMS) або класичне динамічне програмування, поступово витісняються алгоритмами Deep Reinforcement Learning (DRL). Дослідження показують, що методи DRL здатні забезпечувати результати, близькі до теоретичного оптимуму, не потребуючи при цьому повної інформації про майбутній профіль руху. Крім того, актуальним напрямком є комплексна оптимізація – одночасне керування траєкторією руху (адаптивний круїз-контроль) та розподілом потужності між джерелами енергії.

**Результати досліджень.** Проведений аналіз технічних рішень дозволяє структурувати розвиток інтегрованих стратегій керування за декількома фундаментальними напрямками.

***1. Нелінійна оптимізація та біонічні алгоритми [11].*** Перспективним напрямком 2026

року є впровадження нелінійних стратегій керування, параметри яких налаштовані за допомогою метаевристичного алгоритму Red Fox Optimization (RFO). На відміну від традиційних градієнтних методів, цей алгоритм використовується для офлайн-оптимізації коефіцієнтів контролера в складному багатовимірному просторі, що дозволяє знайти найкращий компроміс між робастністю, швидкістю реакції та енергоефективністю. Застосування RFO для налаштування нелінійного керування на основі Super-Twisting Sliding Mode (CBSTSMC) забезпечує стабільну роботу двоспрямованих перетворювачів у режимах G2V та V2G. Такий підхід дозволяє суттєво (до 70%) скоротити час перехідних процесів та мінімізувати явище «chattering» (високочастотних коливань), гарантуючи високу точність регулювання потужності між паливними елементами, акумуляторами та мережею [11].

***2. Глибоке навчання з підкріпленням (DRL) та багатоагентні системи [5, 7].*** Впровадження Multi-Agent Deep Reinforcement Learning (MA-DRL) відкриває можливості для створення ієрархічних структур керування. У такій системі окремі «агенти» відповідають за різні підсистеми: один оптимізує роботу трансмісії, інший – температурний режим батареї, а третій аналізує зовнішні умови руху. Пріоритезація експертних знань у межах MA-DRL дозволяє системі швидше навчатися, уникаючи випадкових помилок на початкових етапах експлуатації. Окремої уваги заслуговує проблема невизначеності маси транспортного засобу. Для вантажних автомобілів та автобусів маса може змінюватися в рази, що кардинально змінює оптимальну стратегію розгону та рекуперації. Алгоритми на основі DRL продемонстрували здатність адаптуватися до цих змін протягом перших декількох кілометрів руху, що недоступно для класичних систем.

***3. Еко-водіння та інтеграція з ITS [7, 12, 15].*** Інтегрована стратегія «Eco-Driving» передбачає використання даних інтелектуальних транспортних систем (ITS) та навігаційних хмарних сервісів. Аналізуючи профіль дороги (ухили, радіуси поворотів) за допомогою GPS, система керування може заздалегідь переводити ДВЗ у режим максимального ККД або готувати батарею до прийняття енергії рекуперації на тривалому спуску. Дослідження «хвилястих» доріг (undulating roads) показують, що навіть незначна зміна профілю швидкості, розрахована за допомогою динамічного програмування, дає змогу зекономити до 12% енергії [6].

***4. Групове керування колонами вантажівок (платунінг) [9, 13].*** Для магістральних тягачів критично важливо узгодити роботу круїз-контролю (CACC) із системою розподілу енергії. Завдяки обміну даними між машинами в реальному часі (V2V), вантажівки можуть їхати «бампер до бампера». Це різко знижує опір повітря та дозволяє всій колоні працювати як єдиний енергетичний механізм. У підсумку, замість того, щоб кожна машина економила паливо поодинці, вся група отримує набагато вищий сумарний ефект.

***5. Технології «Drive-By-Wire» та автономність 4 рівня [1].*** Розвиток систем керування КЕУ тісно пов'язаний із технологіями Drive-By-Wire (керування за дротами). Використання моделей, заснованих на даних (data-driven), дозволяє відмовитися від складних механічних зв'язків, замінивши їх прецизійними електронними алгоритмами. Для автономних транспортних засобів 4 рівня це є критичною умовою, оскільки EMS має бути повністю синхронізована з модулем планування траєкторії для забезпечення максимальної безпеки та економічності.

**Висновки.**

1. Перехід до інтегрованих стратегій керування на основі штучного інтелекту (DRL, RFO) є основним шляхом розвитку КЕУ в 2026 році. Це дозволяє подолати обмеження класичних методів, забезпечуючи адаптивність до мінливих умов експлуатації.
2. Використання багатоагентних систем та комплексної оптимізації EMS/CACC дозволяє отримати синергетичний ефект, де економія палива досягається не лише за рахунок ефективності двигуна, а й за рахунок оптимізації динаміки руху всієї групи транспортних засобів.
3. Впровадження навігаційної підтримки та ITS у контур керування енергопотоками є обов’язковою умовою для сучасних PHEV, що дозволяє використовувати ресурс батареї максимально раціонально.

4. Наукові дослідження кафедри автомобілів, теплових двигунів та гібридних енергетичних установок НУ «Запорізька політехніка» у напрямку роботизації та інтелектуального керування гібридними системами мають на меті створення теоретичної бази для модернізації вітчизняного транспортного парку та підвищення його енергонезалежності.

**Список використаних джерел**

1. Adsule K., Bhagdikar P., Drallmeier J., Alden J., Gankov S. Development of a model-based data-driven control algorithm for a Drive-By-Wire System for a Level 4 Automated Vehicle. – *SAE Technical Paper*. 2026. No. 2026-01-0043. DOI: https://doi.org/10.4271/2026-01-0043.
2. Aronis A. N., Bares P., Novella R., Pla B. Optimal energy management strategy for fuel cell hybrid vehicles via SVD-based model order reduction and non-linear MPC. – *Control Engineering Practice*. 2026. Vol. 165. Article 106880. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2026.106880.
3. Essoufi M., Benzaouia M., Hajji B., Rabhi A., Calí M. Adaptive frequency separation-based energy management strategy using fuzzy logic for fuel cell-battery hybrid vehicles. – *Results in Engineering*. 2026. Vol. 25. Article 109554. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109554.
4. George S., Rajeev T. An optimal power management strategy for enhancing fuel economy in fuel cell-battery hybrid electric vehicles. – *Electric Power Systems Research*. 2025. Vol. 241. Article 112256. DOI: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2025.112256.
5. Gong C., Xu J., Ou S., Lin Y. Reinforcement Learning-based Plug-in Hybrid Electric Vehicle Energy Management Considering Vehicle Mass Uncertainty. – *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2026. DOI: https://doi.org/10.1109/TVT.2026.3663010.
6. Gu Y., Guo Q., Ma Z., Zhao H., Zhu Y., Tao L. A study of the speed economy of plug-in hybrid electric vehicles under an undulating road based on dynamic programming. – *Transportmetrica B: Transport Dynamics*. 2026. Vol. 14, no. 1. Article 2628698. DOI: https://doi.org/10.1080/21680566.2026.2628698.
7. Han Q., Zhao X., Wang S., Ma J., Hasan M. M., Hegazy O. Prioritized Expert-Based Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Eco-Driving of Plug-In Hybrid Electric Vehicles: A Model Predictive Control Framework. – *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2026. DOI: https://doi.org/10.1109/TIE.2026.3651338.
8. Hwang H.-Y., Chen J.-S., Chang C.-W. Energy Management Optimization for Plug-In Hybrid Electric Vehicle. – *Applied Sciences*. 2026. Vol. 16, no. 3. Article 1440. DOI: https://doi.org/10.3390/app16031440.
9. Liu X., Mai D., Mao J., Zhang G., Wu X., Meng Y. Co-Optimization of Cooperative Adaptive Cruise Control and Energy Management for Plug-in Hybrid Electric Truck Platoons. – *Energies*. 2026. Vol. 19, no. 4. Article 935. DOI: https://doi.org/10.3390/en19040935.
10. Qi X., Luo M., Zhang R., Sui P.-C. Health-aware energy management strategy for fuel cell hybrid electric vehicles based on an improved soft actor-critic framework. – *International Journal of Hydrogen Energy*. 2025. Vol. 98. P. 153-165. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.153313.
11. Rehman A., Ghias R., Rehman A., Sherazi H. I., Akram R., Alsafrani A. Red Fox Optimization based nonlinear control strategy for bidirectional energy management in plug-in hybrid electric vehicles. – *Journal of Energy Storage*. 2026. Vol. 105. Article 121231. DOI: https://doi.org/10.1016/j.est.2026.121231.
12. Sun Y., Han Z. Navigation-Guided Global Energy Flow Optimization for Hybrid Electric Vehicles. – *International Journal of Automotive Technology*. 2025. Vol. 26, no. 3. P. 1-12. DOI: https://doi.org/10.1007/s12239-025-00299-5.
13. Yin Y., Xiao H., Zhan S., Chen H., Deng C., Li Z., Pan X. Hierarchical control of hybrid electric vehicle platoon with slope-adaptive variable spacing and soft actor-critic based energy

management. – *Journal of Energy Storage*. 2026. Vol. 104. Article 120623. DOI: https://doi.org/10.1016/j.est.2026.120623.
14. Zha M., Wang W., Yang C., Yang L., Chen R., Du X. Multiobjective Energy Management Strategy for Series Hybrid Electric Vehicles With Prediction Uncertainty Awareness: A Min–Max Game. – *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2026. DOI: https://doi.org/10.1109/TCST.2026.3661157.
15. Zhu Z., Han Y., Du A. Enhanced eco-driving and energy management for heterogeneous hybrid electric vehicles through integrated transfer learning and deep reinforcement learning. – *Energy*. 2025. Vol. 312. Article 139626. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.139626.

***Артюх Олександр Миколайович*** – к.т.н., доцент, зав. кафедри автомобілів, теплових двигунів та гібридних енергетичних установок НУ «Запорізька політехніка»

***Artyukh Oleksandr*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles, Heat Engines and Hybrid Power Plants, National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

УДК 656.13

**Афонін М.О., Рибак Р.Т., Максимюк О.А.**

# ЩОДО ЗНАЧИМОСТІ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЇВ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

*Розглянуто попередній досвід науковців, які вивчали питання зміни функціонального стану водіїв. Проведено аналіз показників, якими керуються дослідники для опису зміни психоемоційного напруження та втоми. Встановлено, що спектральні показники варіабельності серцевого ритму водіїв є недооціненим показником у транспортних дослідженнях.*
***Ключові слова:*** *водій, функціональний стан, втома, стрес, варіабельність серцевого ритму, спектральні показники, індекс напруження.*

*This study reviews the previous work of researchers who have examined changes in drivers' functional state. An analysis was conducted of the indicators researchers use to describe changes in psychoemotional stress and fatigue. It was found that spectral indicators of heart rate variability in drivers are an underutilized set of metrics in transportation research.*
***Keywords:*** *driver, functional state, fatigue, stress, heart rate variability, spectral indicators, stress index.*

Дослідження функціонального стану водіїв найчастіше базується на реєстрації електрокардіограми та аналізі варіабельності серцевого ритму (ВСР). Цей вибір обґрунтовується тим, що серцево-судинна система є універсальним індикатором адаптаційних реакцій усього організму, яка першою реагує на будь-які фізичні та психоемоційні навантаження під час керування автомобілем.

Для кількісної оцінки рівня напруги та стомлення дослідники традиційно застосовують вторинні комплексні метрики, зокрема показник активності регуляторних систем (ПАРС) та індекс напруження (ІН) [1]. Завдяки цим індексам вдається наочно ілюструвати погіршення стану водія під дією таких негативних чинників, як рух у темну пору доби, засліплення фарами, зміна швидкісних режимів або тривале перебування в міських транспортних заторах [1].

Важливим аспектом оцінки є те, що динаміка зміни функціонального стану не є універсальною і сильно залежить від індивідуально-типологічних особливостей людини. Зокрема, доведено, що вік та тип темпераменту (холерик, сангвінік, флегматик, меланхолік) безпосередньо визначають реакцію організму на монотонні або стресові умови дороги, що безпосередньо впливає на час реакції та ймовірність помилки [2].

В оглянутих джерелах [1-2] часто зустрічаються посилання на роботи, які також обґрунтовують використання ІН та ПАРС для транспортних досліджень, проте, вони написані з урахуванням реалій і технологічних можливостей 10-20-річної давності. Отже обґрунтування додаткових показників ВСР для досліджень функціонального стану водіїв є хорошим доповненням до наявного доробку науковців у цій сфері, а не критикою застосованих ними методів.

Поряд із використанням комплексних індексів, існує підхід, що наголошує на важливості застосування первинних спектральних показників серцевого ритму [3]. Оскільки комплексні показники формуються на основі багатьох змінних, вони втрачають чутливість до дуже швидких або локальних змін ситуації. Натомість первинні частотні компоненти гнучкіше і майже миттєво відображають реакцію водія на раптові зовнішні подразники та зміни геометрії дороги.

Зважаючи на огляд не лише вітчизняних [1-2] але й зарубіжних [4] джерел, та врахуванням потенціалу, який можуть мати спектральні показники ВСР [3], наводимо їх порівняльний аналіз у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння показників ВСР за інтерпритацією їхніх функцій

| Категорія показників | Показник | Значення для транспортного процесу | Техніко-експлуатаційний маркер |
|---|---|---|---|
| I. Маркери оперативної надійності (Оперативне навантаження) | LF/HF | Оцінка рівня психоемоційної напруги при виконанні складних маневрів. | Стрес-реактивність –здатність водія адекватно реагувати на критичні дорожні ситуації. |
| | LF | Ступінь концентрації уваги та когнітивної залученості в процес керування. | Робоче навантаження –рівень активного контролю за приладами керування та дорожньою обстановкою |
| II. Маркери функціональної деградації (Накопичена втома) | RMSSD | Стійкість регуляторних систем до тривалого навантаження. | Виснаження ресурсу – зниження показника нижче норми є сигналом до обов'язкового відсторонення від рейсу. |
| | SDNN | Чутливість до одноманітності (монотонії) дорожнього середовища. | Ризик монотонії – зниження варіабельності прямо корелює з уповільненням часу реакції на 15–20%. |
| | Total Power (TP) | Сумарний енергетичний потенціал організму водія. | Функціональна готовність – можливість продовжувати роботу без ризику виникнення помилкових дій. |
| | VLF | Показник переходу організму в режим енергодефіциту. | Критична втома – стан, за якого виникає ризик раптового засинання (мікросну) за кермом. |

Встановлено, що для об'єктивної оцінки надійності водіїв вантажних автомобілів необхідно використовувати диференційований підхід до аналізу показників ВСР. Розподіл метрик на індикатори оперативної відповіді (LF/HF, LF) та кумулятивного зносу (RMSSD, SDNN, TP) дозволяє розмежувати природні реакції на дорожні подразники від небезпечних станів виснаження. Такий підхід забезпечує можливість ідентифікації прихованої втоми, яка часто ігнорується самими водіями, але суттєво знижує їхню професійну ефективність. Зниження загальної потужності спектра (TP) та часових параметрів варіабельності (SDNN) є прямим предиктором уповільнення психомоторних реакцій.

Як уже зазначалося, досить тривалий час для оцінки функціонального стану водіїв традиційно застосовують комплексні показники варіабельності серцевого ритму, такі як ІН та ПАРС і вони надійно ілюструють загальний рівень стомлення чи психоемоційного напруження, викликаний тривалими чинниками: рухом вночі, зміною швидкості або тривалим перебуванням у заторах. Однак через те, що ці індекси формуються з комбінації багатьох змінних, вони є досить інертними і не здатні швидко фіксувати реакцію організму на миттєві, локальні зміни дорожньої ситуації.

Як альтернативу для точнішого аналізу використовують первинні спектральні показники, зокрема загальну потужність спектра (TP) та його високочастотний компонент (HF). Головна їхня перевага полягає у високій чутливості та гнучкості: вони здатні майже миттєво відобразити зміну стану водія у відповідь на раптові перешкоди, зміну тривалості поїздки чи несподіване звуження дороги. Отже, комплексні метрики краще підходять для тривалого

моніторингу загальної втоми, тоді як первинні спектральні показники є найбільш інформативними для фіксації швидких адаптаційних реакцій водія в динамічних умовах.

Підсумовуючи це документальне дослідження, варто відмітити, що інтеграція запропонованої матриці показників у системи вдосконалення технологічних процесів вантажних перевезень дозволяє перейти від суб'єктивного контролю стану персоналу до превентивного управління ризиками. Використання об’єктивних фізіологічних маркерів, таких як критичне зростання VLF або обвал RMSSD, забезпечує наукове підґрунтя для оптимізації режимів праці та відпочинку водіїв великовантажного транспорту, що безпосередньо підвищує рівень безпеки транспортних процесів.

**Список використаних джерел**

1. Пострaнський Т. М. Методика дослідження функціонального стану водіїв транспортних засобів. *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України»*. – Київ: ДП «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут», 2015. – Вип 3. – С. 30 – 34

2. Давідіч Ю. О. Теоретичні основи ергономічного забезпечення автотранспортних технологічних процесів: автореф. дис. доктора технічних наук: 05.22.01, 05.01.04 – Х : ХНАМГ, 2007. – 38 с.

3. Афонін М.О. Основні показники варіабельності серцевого ритму водія, які можуть бути використані для оцінки впливу на нього дорожніх умов. *ІІ Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання», 16–18 березня 2017 року:* Тези доповідей. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. – С. 106.

4. Task Force of the European Society of Cardiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation,* 1996. – Vol. 93, Issue 5, p 1043-1065

***Афонін Максим Олександрович*** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 316, e-mail: maksym.o.afonin@lpnu.ua).

***Рибак Роман Тарасович*** — док. філ., асистент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 316, e-mail: roman.t.rybak@lpnu.ua).

***Максимюк Олександр Андрійович*** — аспірант кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 316, e-mail: oleksandr.a.maksymiuk@lpnu.ua).

***Maksym Afonin*** — Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Transportation Technologies, Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, 32 S. Bandery St., Room 316, e-mail: maksym.o.afonin@lpnu.ua).

***Roman Rybak*** — Ph.D., Assistant at the Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, 32 S. Bandery St., Room 316, e-mail: roman.t. rybak@lpnu.ua).

***Oleksandr Maksymiuk*** — Ph.D. Student, Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, 32 S. S. Bandery St., Room 316, e-mail: oleksandr.a. maksymiuk@lpnu.ua).

УДК 629.331

**Багач Р.В., Латвинський В.Д.**

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У МІСЬКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Дослідження енергоефективності електромобілів у міських умовах експлуатації дозволяє встановити закономірності зміни енергоспоживання залежно від швидкісного режиму, інтенсивності руху, температури навколишнього середовища та ефективності рекуперативного гальмування. Отримані результати сприятимуть підвищенню ефективності використання електричної енергії, оптимізації режимів керування електромобілем та збільшенню дальності його ходу в реальних умовах експлуатації.*

***Ключові слова:*** *електромобіль, енергоефективність, енергоспоживання, міський цикл руху, рекуперативне гальмування, швидкісний режим, температура навколишнього середовища, дальність ходу.*

*The study of electric vehicle energy efficiency under urban operating conditions makes it possible to determine the patterns of changes in energy consumption depending on driving speed, traffic intensity, ambient temperature, and the efficiency of regenerative braking. The obtained results will contribute to improving the efficiency of electric energy use, optimizing electric vehicle control modes, and increasing driving range under real operating conditions.*

***Keywords:*** *electric vehicle, energy efficiency, energy consumption, urban driving cycle, regenerative braking, driving speed, ambient temperature, driving range.*

Стрімке зростання кількості електромобілів у міських агломераціях зумовлює необхідність детального аналізу їх енергоефективності в реальних умовах експлуатації. На відміну від лабораторних випробувань за стандартними циклами WLTP або EPA, міський режим руху характеризується частими зупинками, розгонами, роботою систем рекуперативного гальмування, а також значним впливом кліматичних факторів. У зв'язку з цим актуальним є дослідження зміни енергоспоживання електромобілів залежно від швидкісного режиму, температури навколишнього середовища та інтенсивності руху [1, 2].

На рис. 1 наведено аналіз профілю швидкості електромобіля та залежність енергоспоживання від швидкості. Подано типовий міський цикл руху з частими розгонами й зупинками, характерними для центральних районів великих міст. Показано, що мінімальне питоме енергоспоживання досягається за швидкості 40–60 км/год, що підтверджується експлуатаційними даними моделей Tesla Model 3 та Volkswagen ID.3.

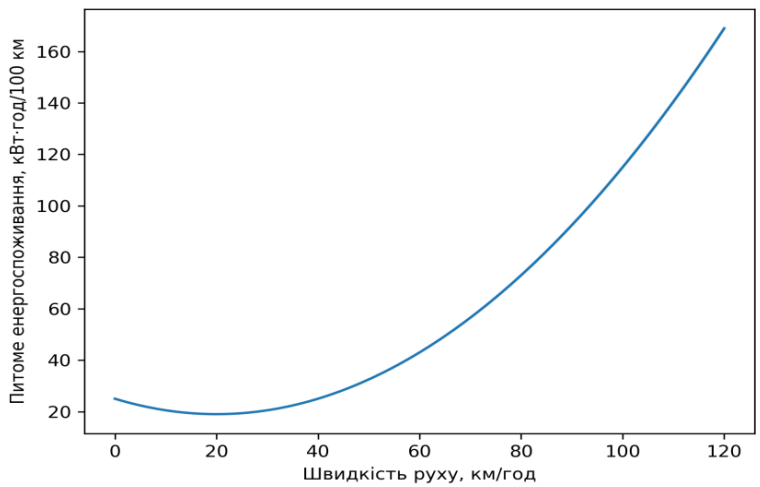



Рисунок 1 – Залежність питомого енергоспоживання від швидкості руху електромобіля

У реальних умовах подібний профіль швидкості спостерігається, наприклад, під час експлуатації Nissan Leaf (40 кВт·год) або Hyundai Kona Electric у щільному міському трафіку. Часті зупинки на світлофорах та у заторах призводять до підвищених втрат енергії під час розгону, однак частково ці втрати компенсуються роботою системи рекуперації [3].

При зростанні швидкості понад 80 км/год питомі витрати електроенергії різко збільшуються через зростання аеродинамічного опору. Наприклад, для Tesla Model 3 споживання при швидкості 50 км/год становить близько 14–15 кВт·год/100 км, тоді як при швидкості 110 км/год воно може перевищувати 20 кВт·год/100 км.

Вплив рекуперативного гальмування на енергоефективність. Рекуперативне гальмування є однією з ключових переваг електромобілів у міських умовах [4, 5]. На рис. 2 показано залежність частки відновленої енергії від кількості циклів гальмування.

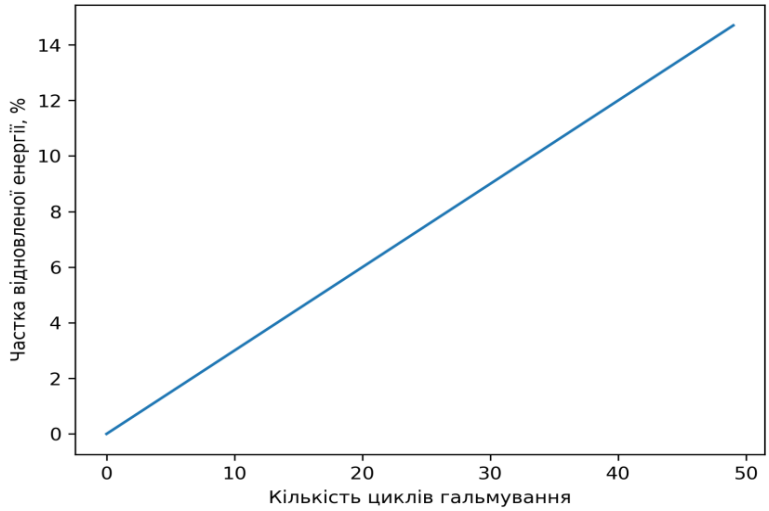



Рисунок 2 – Вплив рекуперативного гальмування на енергоефективність

Практичні дослідження показують, що в міських умовах електромобілі здатні повертати до 20–30 % витраченої енергії. Так, у моделях BMW i3 та Tesla Model Y ефективність рекуперації значно зростає при використанні режиму «one-pedal driving», що дозволяє зменшити навантаження на механічну гальмівну систему та підвищити загальну енергоефективність транспортного засобу.

Вплив температури навколишнього середовища на енергоспоживання. На рис. 3 наведено залежність відносного енергоспоживання електромобіля від температури навколишнього середовища. Аналіз демонструє, що найбільш сприятливими умовами експлуатації є температурний діапазон від +15 до +25 °C.

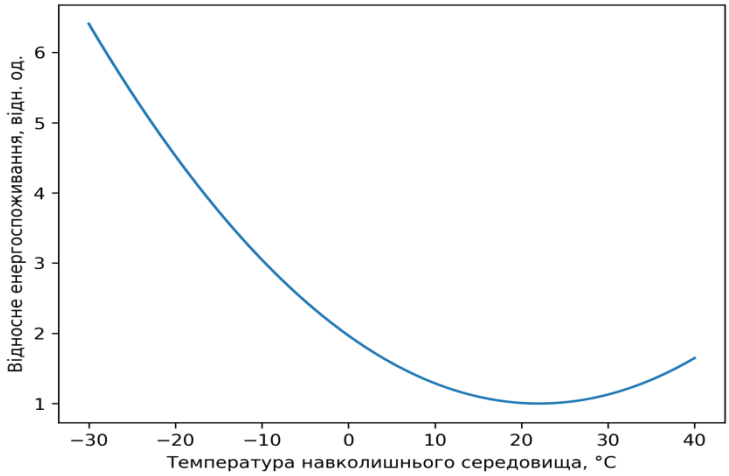



Рисунок 3 – Вплив температури на енергоспоживання електромобіля

При низьких температурах від –10 до –20 °С спостерігається зростання енергоспоживання на 25 – 40 %, що пов'язано з роботою системи обігріву салону та підігріву тягової батареї. Наприклад, для Renault Zoe взимку фактична дальність ходу може зменшуватися з 380 км до 250–270 км.

Вплив швидкості руху на дальність ходу електромобіля. На рис. 4 представлено залежність максимальної дальності ходу електромобіля від швидкості руху. Максимальна дальність досягається при швидкостях руху, що підтверджується експериментальними даними для Hyundai Ioniq Electric та Kia EV6 [6].

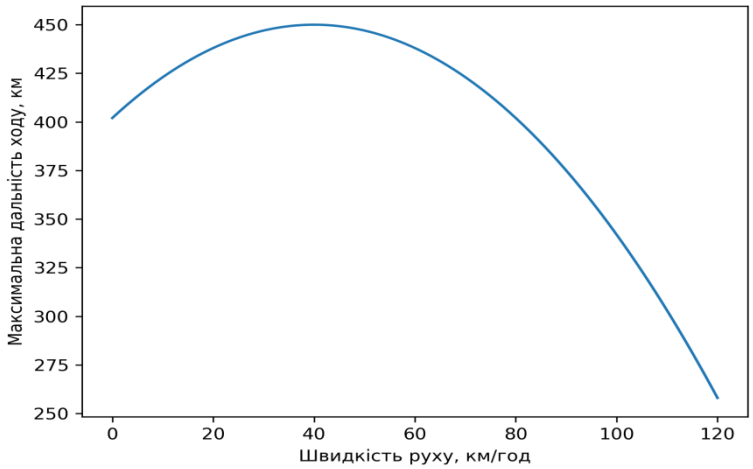



Рисунок 4 – Вплив швидкості руху на максимальну дальність ходу електромобіля.

При русі з постійною швидкістю 90–110 км/год дальність ходу зменшується в середньому на 30–35 % у порівнянні з міським режимом. Це є важливим фактором при плануванні міжміських поїздок та виборі оптимальної стратегії керування електромобілем.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що енергоефективність електромобілів у міських умовах суттєво залежить від швидкісного режиму, температури навколишнього середовища та інтенсивності гальмування. Найбільш енергоефективним є рух у міському режимі з активним використанням рекуперативного гальмування та помірною швидкістю [7].

Отримані результати дослідження доцільно застосовувати і в навчальному процесі під час підготовки фахівців у галузі електричного транспорту, зокрема при викладанні дисциплін, пов'язаних із системами живлення електромобілів, силовою електронікою, електроприводом та енергозбереженням [8]. Це сприятиме формуванню у здобувачів освіти сучасних професійних компетентностей, розвитку аналітичного мислення та практичних навичок у сфері проєктування й експлуатації електротранспортних засобів.

**Список використаних джерел**

1. Багач, Р.В., & Гнатов, А.В. (2022). Енергозбереження у секторі міського електротранспорту. *"Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування " СЕУТТОО-2022: 13-а Міжнародна науково-практична конференція, 07-09 вересня 2022 р.* – Херсон: Херсонська державна морська академія. (с.105–108).

2. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Багач Р. В., Гнатова Г.А., Тарасова В. В., Ручка О. О. Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання.* Х.: ХНАДУ, 2021. № 20. – С. 17-26.

3. Аль-Амморі, А. Н., Іщенко, Р. М., & Малиш, М. І. (2025). Рекуперація енергії під час гальмування електромобіля з використанням суперконденсаторів. *Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернетконференції «Проблеми та перспективи розвитку авто-*

*мобільного 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.)

4. Аргун, Щ.В. Рекуперативне гальмування для підвищення ефективності електромобілів/ЩВ Аргун, АВ Гнатов, МС Лещенко//*Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців: наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф., 27–29 жовт. 2021 р.*/Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т.– Харків, 2021.–С. 342–344.

5. Дембіцький, В.М Підвищення ефективності систем рекуперативного гальмування: огляд сучасних досліджень/ВМ Дембіцький//*Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців: наук. пр. IV Міжнар. наук.-практ. конф. до Дня автомобіліста та дорожника, 23–25 жовт. 2023 р.*/Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т.–Харків, 2023. – С. 261–264.

6. Сакно, О. П., Сакно, О. Р., Медведєв, Є. П., & Цимбал, С. В. (2024). Дослідження впливу зовнішніх факторів на експлуатаційні властивості електромобіля. *Вісник машинобудування та транспорту*, *19*(1), 131-138.

7. Багач Р.В., Латвинський В.Д. (2025). Вибір майбутнього для електротранспорту та енергозбереження. *III Всеукраїнська наукова конференція здобувачів освіти і молодих учених «Відбудова транспортної інфраструктури України».* Збірник тез доповідей. – К.: НТУ, 2025. – 461 с. – с.144-145.

8. Багач Р. В., Чернюк А. М. (2025). Впровадження освітніх інновацій у професійну підготовку фахівців зі спеціальності G3 "Електрична інженерія" *Вища освіта за новими стандартами: виклики у контексті діджиталізації та B92 інтеграції в міжнародний освітній простір : матеріали IV Міжнародної науковометодичної конф.,* (м. Харків, 03 квіт. 2025 р.). Харків : «Факт», 2025. 346 с.

***Багач Руслан Володимирович*** — доктор філософії (PhD), доцент кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 201, e-mail: bagach.ruslan@gmail.com)

***Латвинський Владислав Дмитрович*** — асистент кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд.201, e-mail: latvin2000@gmail.com)

***Bahach Ruslan*** — Ph.D., associate professor of the Department of Automotive Electronics of Kharkov National Automobile and Highway University, (61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo Street, 25, room 201, e-mail: bagach.ruslan@gmail.com)

***Latvynskyi Vladyslav*** — Assistant of the Department of Automotive Electronics of Kharkov National Automobile and Highway University (61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo Street, 25, room 201, e-mail: latvin2000@gmail.com).

УДК 621.005

**Бажинов О.В., Кикла Е.М.**

# ВИБІР ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

*Наведено дослідження сучасного стану та класифікації типів акумуляторних батарей (NMC, LFP), а також аналіз електрохімічних механізмів деградації (SOH), що дозволяє визначити технічні, економічні та ресурсні характеристики різних електрохімічних систем та обґрунтувати вибір.*

***Ключові слова:*** *електропривід, система, електромобіль, методологія, енергія, ємність, акумуляторна батарея, запас ходу.*

*The study of the current state and classification of types of rechargeable batteries (NMC, LFP), as well as the analysis of electrochemical degradation mechanisms (SOH), which allows to determine the technical, economic and resource characteristics of various electrochemical systems and justify the choice.*

***Keywords****: electric drive, system, electric vehicle, methodology, energy, capacity, battery, range.*

Вибір тягової акумуляторної батареї (ТАБ) є багатофакторним інженерним завданням, яке вимагає досягнення оптимального балансу між технічними характеристиками (продуктивність), економічними показниками (вартість) та вимогами безпеки. Методологія вибору ґрунтується на аналізі цільового призначення електромобіля та його експлуатаційного профілю.

Для ефективної роботи у складі електромобіля електрохімічна система повинна відповідати низці жорстких технічних та економічних вимог:

– висока питома енергетична густина (Wh/kg або Wh/L) – цей параметр визначає, скільки енергії батарея може накопичити на одиницю маси або об'єму. Він безпосередньо впливає на запас ходу електромобіля;

– висока питома потужність (W/kg) – характеризує швидкість віддачі енергії, що є критично важливим для динаміки, прискорення та можливості рекуперативного гальмування;

– тривалий термін служби (циклічний ресурс) – вимірюється кількістю повних циклів «заряд–розряд» до моменту падіння ємності до 70-80% від початкової (показник State of Health, SOH);

– швидкість заряджання – можливість приймати високі струми, що скорочує час простою транспортного засобу;

– безпека та термостабільність – батарея не повинна мати схильності до термічного розгону при пошкодженні або перегріві;

– економічна ефективність – низька вартість за одиницю накопиченої енергії (кВт·год).

Електрохімічна система за типом електрохімії на сьогоднішній день повністю домінує літій-іонна (Li-ion) технологія, яка найкраще відповідає вимогам за питомою енергетичною густиною та циклічним ресурсом.

Етапи методології вибору ТАБ визначаються з профілю місії (Mission Profile): встановлення ключових вимог до транспортного засобу (ТЗ): необхідний запас ходу, максимальна швидкість, динаміка прискорення та умови експлуатації (температурний режим, тип доріг). Розрахунок енергетичних вимог: визначення необхідної загальної енергії (кВт·год) для забезпечення заданого запасу ходу та пікової потужності (кВт) для прискорення. Порівняння електрохімічних систем: зіставлення характеристик NMC, LFP та інших систем із розрахунковими вимогами. Оцінка життєвого циклу та вартості: аналіз загальної вартості володіння (Total Cost

of Ownership, TCO), включаючи початкову ціну батареї та її очікуваний ресурс. Вибір складається із формування техніко-економічного обґрунтування на користь конкретного типу акумулятора.

Ключові критерії вибору ТАБ електрохімічної системи здійснюється за пріоритетністю наступних критеріїв: Питома енергетична густина (Wh/kg): найважливіший критерій для пасажирських ЕВ, де пріоритетом є максимальний запас ходу при мінімальній вазі. За цим критерієм лідирують NMC та NCA.Питома потужність (W/kg): вирішальний для високопродуктивних (спортивних) ЕВ або тих, що вимагають частого рекуперативного гальмування та швидкого прискорення. Вартість (USD/kWh): ключовий фактор для бюджетних та комерційних ЕВ. Низька вартість LFP-систем часто компенсує їхню меншу енергетичну густину. Циклічний ресурс та довговічність: визначає, як довго батарея підтримуватиме прийнятний SOH. Це критично для таксі, каршерінгу та іншого fleet-транспорту, де пріоритет надається LFP.Термостабільність та безпека: Обов'язкова вимога. Системи повинні мати достатній запас стійкості до внутрішніх та зовнішніх термічних впливів.

Таким чином, вибір електрохімічної системи – це завжди компроміс між густиною енергії (дальність) та густиною потужності (динаміка) з одного боку, та вартістю і безпекою з іншого.

Розрахунок ємності та потужності тягової акумуляторної батареї (ТАБ) є необхідним етапом для обґрунтування вибору електрохімічної системи. Розрахунок повинен враховувати вимоги до запасу ходу, динаміки, маси транспортного засобу та ефективності приводу.

Розрахунок необхідної енергетичної ємності $E_{(batt)}$

Формула для розрахунку загальної енергії батареї (з урахуванням запасу):

$$E_{batt} = \frac{L \cdot W_{sp}}{\eta_d \cdot k_r} \tag{1}$$

Розрахунок необхідної пікової потужності $P_{peak}$. Формула для розрахунку пікової потужності, необхідної від батареї:

$$P_{peak} = \frac{F_{total} \cdot v_{max}}{1000 \cdot \eta_{trac}} \tag{2}$$

Фінальне обґрунтування вибору ТАБ базується на зіставленні розрахункових вимог ($E_{batt}, P_{peak}$) з фактичними характеристиками обраної електрохімічної системи (NMC, LFP):

Обґрунтування вибору електрохімічної системи (NMC vs LFP): NMC/NCA: вибираються, якщо $\rho E, req$ є високою (пріоритет запасу ходу). LFP: вибираються, якщо пріоритетом є довговічність та мінімальна вартість. Конфігурація визначається кількістю послідовних $N_s$та паралельних $N_p$ елементів.

Визначення кількості послідовних елементів ($N_s$)

$$N_S = \frac{V_{sys,nominal}}{V_{cell,nominal}} \tag{3}$$

Визначення кількості паралельних елементів ($N_p$)

$$N_P = \frac{C_{batt,total}}{C_{cell,single}} \tag{4}$$

де $C_{batt,total} = E_{batt}/V_{sys,nominal}$

Кінцева конфігурація: $N_{total} = N_s \cdot N_p$.

Варіативність літій-іонних акумуляторних систем, які домінують на ринку електромобілів, обумовлена насамперед зміною хімічного складу катода. Цей вибір є компромісом між ключовими експлуатаційними показниками: енергетичною густиною, вартістю та безпекою. Розуміння цих відмінностей критично важливе для обґрунтування вибору та розробки ефективних технологій діагностування.

Системи LFP вважаються найбільш безпечними через високу структурну стабільність фосфатного катода, який стійкий до термічного розгону навіть при високих температурах. LFP-елементи демонструють надзвичайно високий циклічний ресурс (до 6000 циклів). Однак їхнім основним недоліком є нижча питома енергетична густина (Wh/kg), що обмежує їх використання у сегменті преміальних ЕВ з великим запасом ходу. Використовуються переважно у бюджетних та комерційних транспортних засобах.

NMC-системи пропонують найкращий баланс характеристик. Вони забезпечують високу енергетичну густину і достатню потужність. Завдяки високому вмісту нікелю (наприклад, NMC 811 або 9½½) сучасні NMC-батареї можуть забезпечити максимальний запас ходу, проте підвищення частки нікелю, як правило, знижує термостабільність і підвищує вартість через використання кобальту.

Системи NCA, які використовують алюміній для підвищення стабільності структури, традиційно забезпечують одну з найвищих питомих енергетичних густин серед комерційних Li-ion батарей. Вони демонструють високу продуктивність, але, як і NMC, вимагають ретельного контролю температури та напруги через помірну термостабільність.

**Список використаних джерел**

1. Застосування Розширеного Фільтра Калмана для оцінки SOC літій-іонних батарей в умовах експлуатаційного шуму / В. П. Мартиненко, О. С. Шевченко // Вісник НТУУ "КПІ". Серія: Енергетика. – 2024. – № 1. – С. 45–60.
2. Спільна оцінка SOH та параметрів деградації в BMS за допомогою алгоритму RLS / К. І. Мороз, Р. П. Кулик // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2023. – № 17. – С. 14–24.
3. Особливості моделювання та діагностики LiFePO4 акумуляторів з пласкою кривою напруги / Л. В. Сметаніна, О. Г. Петров // Електротехніка та електроенергетика. – 2023. – № 2. – С. 70–85.
4. Підвищення точності SOC оцінки шляхом температурної компенсації параметрів ECM / М. О. Приходько, І. В. Нестеренко // Енергозбереження. – 2023. – № 4. – С. 101–112.

***Бажинов Олексій Васильович –*** *доктор технічних наук, професор кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, , e-mail: alexey.bazhinov@gmail.com*

***Кикла Едуард Миколайович*** *– аспірант кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, e-mail:eduardkykla@gmail.com*

***Alexey Bazhinov*** *– Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Systems Automobiles Transport,, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv,: alexey.bazhinov@gmail.com*

***Kykla Eduard*** *– aspirant of the Department of Engineering Systems Automobiles Transport,, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, , e-mail: eduardkykla@gmail.com*

УДК 629.113:620.178:620.193

**Балицька В.О., Балицький О.І., Колесніков В.О., Абрамек К.Ф.**

# ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА РЕСУРС КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПОЖЕЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

*У роботі розглянуто вплив експлуатаційних факторів на ресурс і надійність конструкційних матеріалів пожежних автомобілів. Показано, що ефективність функціонування пожежно-рятувальної техніки значною мірою визначається експлуатаційною довговічністю металоконструкцій основних вузлів і агрегатів, які працюють у складних умовах змінних механічних навантажень, агресивних середовищ, температурних коливань та інтенсивних динамічних режимів руху. Проаналізовано роль циклічних навантажень у розвитку втомних пошкоджень, а також корозійно-механічного зношування, спричиненого дією води, піноутворювачів, продуктів горіння та дорожніх реагентів. Відзначено специфіку режимів експлуатації пожежних автомобілів, що характеризується поєднанням тривалих періодів простою з короткочасними інтенсивними навантаженнями під час виїздів на виклики, що обумовлює необхідність підтримання постійної технічної готовності та застосування планово-попереджувальної системи технічного обслуговування. Показано, що підвищення ресурсу конструкційних матеріалів можливе шляхом використання сучасних зносо- та корозійностійких матеріалів, захисних покриттів, ефективних мастильних матеріалів, а також впровадження методів діагностування та прогнозування технічного стану пожежної техніки.*

***Ключові слова:*** *пожежні автомобілі; конструкційні матеріали; експлуатаційні фактори; довговічність; втома матеріалів; корозійно-механічне зношування; технічна готовність; технічне обслуговування; діагностування; ресурс машин.*

*The paper considers the influence of operational factors on the service life and reliability of structural materials used in fire-fighting vehicles. It is shown that the efficiency of rescue and fire-fighting equipment largely depends on the operational durability of metal structures in the main units and assemblies operating under severe conditions of variable mechanical loading, aggressive environments, temperature fluctuations, and intensive dynamic driving regimes. The role of cyclic loading in the development of fatigue damage is analysed, as well as corrosion-mechanical wear caused by the action of water, foaming agents, combustion products, and road de-icing chemicals. The specific operating modes of fire vehicles are highlighted, characterised by long idle periods combined with short-term intensive loading during emergency responses, which determines the need to maintain constant technical readiness and to implement preventive maintenance systems. It is demonstrated that improving the service life of structural materials can be achieved through the use of modern wear- and corrosion-resistant materials, protective coatings, advanced lubricants, and the application of diagnostic and technical condition prediction methods for fire-fighting equipment.*

***Key words:*** *fire-fighting vehicles; structural materials; operational factors; durability; material fatigue; corrosion-mechanical wear; technical readiness; maintenance; diagnostics; service life.*

Ефективність функціонування пожежних автомобілів значною мірою визначається експлуатаційною довговічністю конструкційних матеріалів їх основних вузлів і агрегатів [1-5]. Під час виконання оперативних завдань такі транспортні засоби працюють у складних умовах, що характеризуються змінними навантаженнями, впливом агресивних середовищ, температурними коливаннями та інтенсивними динамічними режимами руху.

Одним із ключових експлуатаційних факторів є циклічне механічне навантаження, що призводить до накопичення втомних пошкоджень у металевих елементах шасі, кузова та робочого обладнання. При цьому надійність пожежних автомобілів суттєво залежить від технічного стану двигуна, трансмісії та насосних систем, які є найбільш схильними до відмов у про-

цесі експлуатації. За результатами досліджень несправностей пожежних автоцистерн встановлено, що саме ці системи найчастіше потребують ремонту, що може призводити до зниження технічної готовності підрозділів [6]. Особливого увагу приділяють опонам важких пожежних автомобілів швидкого реагування (Panthera (6x6) Rosenbauer) на злітно-посадкових смугах, де можливий проїзд по розливах палаючого авіаційного палива.

На рисунку 1 представлена пожежа автоцистерни з об'ємом вогнегасних засобів понад 8 т. Автопоїзд пожежний АЦ-30-70-2 (6443)-406 на шасі сидельного автомобільного тягача і напівпричепа-цистерни призначений для: доставки до місця аварії (пожежі) бойового розрахунку, засобів пожежогасіння і пожежно-технічного озброєння, гасіння пожеж водою і повітряно-механічною піною з цистерни, для роботи в перекачування води з іншими автомобілями при значному удаленні водойми від місця пожежі. Технічні характеристики можна передивись на сайті [7], з іншими варіантами пожених цистерн можна ознайомитись на ресурсі [8].



Рисунок 1 – Автопоїзд пожежний АЦ-30-70-2 (6443)-406 [7].

Важливим фактором деградації матеріалів є корозійний вплив води, піноутворювачів, продуктів горіння та дорожніх реагентів. Тривала дія таких середовищ сприяє розвитку корозійно-механічного зношування, що знижує ресурс металоконструкцій і трубопровідних систем. У сучасних дослідженнях показано, що застосування новітніх мастильних матеріалів і захисних покриттів дозволяє значно підвищити опірність компонентів автомобіля зносу та корозії, а також збільшити міжремонтні інтервали [9].

Суттєвий вплив на ресурс матеріалів має також режим експлуатації пожежних автомобілів, який відзначається поєднанням тривалих періодів простою із короткочасними інтенсивними навантаженнями під час виїздів на виклики. Така специфіка використання обумовлює необхідність забезпечення постійної технічної готовності машин та планово-попереджувальної системи технічного обслуговування [10].

Суттєвий вплив на ресурс матеріалів має також режим експлуатації пожежних автомобілів, який відзначається поєднанням тривалих періодів простою із короткочасними інтенсивними навантаженнями під час виїздів на виклики. Така специфіка використання обумовлює необхідність забезпечення постійної технічної готовності машин та планово-попереджувальної системи технічного обслуговування [11].

Крім того, конструктивні особливості пожежно-рятувальної техніки та використання різних базових шасі формують специфічні вимоги до матеріалів, які повинні забезпечувати підвищену міцність, корозійну стійкість і ремонтопридатність [1, 6, 12].

Класифікація пожежно-рятувальної техніки здійснюється з урахуванням її призначення

та функціональних можливостей, що зумовлює значне різноманіття типів і конструктивних виконань спеціальних автомобілів [1, 7, 8, 12]. Це, у свою чергу, впливає на вимоги до їх технічних характеристик та умов експлуатації.

Наши напрацювання у галузі вивчення впливу експлуатаційних факторів на комплекс експлуатаціних властивостей відповідальних деталей та вузлів у галузі енергомашинобудування [13-22] також дозволяють вносити консалтинговий внесок у щодо аналізу та узагальненню впливу експлуатаційних факторів на ресурс конструкційних матеріалів пожежних автомобілів.

Таким чином, підвищення ресурсу конструкційних матеріалів пожежних автомобілів можливе шляхом оптимізації режимів технічного обслуговування, застосування зносо- та корозійностійких матеріалів, використання сучасних методів діагностування та прогнозування технічного стану машин.

**Список використаних джерел**

1. Ларін О.М., Семків О.М., Мисюра М.І., Кривошей Б.І. Експлуатація пожежної та аварійно-рятувальної техніки: навч. посіб. – Харків: НУЦЗУ, 2012. – 312 с.
2. 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: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.] – Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 42–47. ISBN 978-617-8163-47-1 (PDF).
3. Балицька Валентина, Балицький Олександр, Колесніков Валерій. 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. https://doi.org/10.12958/ME-SPP-4-20.3.2025
4. 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.
https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/926
5. 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.
https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/926
6. Ренкас А.А. Метод підвищення експлуатаційної надійності пожежних автоцистерн на основі аналізу їх несправностей // Пожежна безпека. – 2023. 43, 137-143. Renkas, A. (2023). МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ПОЖЕЖНИХ АВТОЦИСТЕРН НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ НЕСПРАВНОСТЕЙ. Пожежна безпека, 43, 137-143. https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.15
7. Промислова компанія «Пожмашина». Автоцистерна пожежна АЦ-30-70-2 (6443)-406 : технічний опис. URL: https://pkpm.com.ua/uk/production/ac-30-70-2-6443-406-2
8. Знання пожежної машини. Повний посібник з пожежних машин-цистерн: основне пожежне обладнання та функції. URL: https://www.firerescuetruck.com/uk/the-ultimate-guide-to-tank-fire-trucks-essential-firefighting-equipment-and-features

9. Зуй Б. І. Дослідження факторів, що впливають на експлуатаційні властивості автомобіля : кваліфікаційна робота : спец. 274 – автомобільний транспорт, освітньо-професійна програма «Автомобільний транспорт». Вінниця : ВННІЕ Західноукраїнського національного університету, 2024. 44 с. URL: https://dspace.wunu.edu.ua/bitstreams/24849cf6-7ccc-4311-a7e6-d8e55fc2b7e9/download (дата звернення: 23.03.2026).

10. Fire Department Standard Operating Guidelines (SOGs). Wisconsin Department of Safety and Professional Services. URL: https://dsps.wi.gov/Documents/Programs/FirePrevention/SOGs.pdf

11. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Про затвердження Настанови з експлуатації транспортних засобів в органах та підрозділах ДСНС України : наказ від 27.06.2013 № 432. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0432388-13#Text

12. Гащук П. М., Сичевський М. І. Особливості й труднощі класифікації самохідної техніки для ліквідації надзвичайних ситуацій. Пожежна безпека : збірник наукових праць. Львів : Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2015. № 27. С. 33–43. URL: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/visnyky/pb/27/27_7.pdf

13. Еліаш Я., Балицький О.І., Гаврилюк М.Р. Колесніков В.О., Балицька В.О. Екологічно-чисті змащувально-охолоджуючі рідини на базі рослинних олій // Монографія VI Міжнародної науково-технічної конференції «проблеми хіммотології. теорія та практика раціонального використання традиційних та альтернативних паливно-мастильних матеріалів». С. 418 – 422.

14. Alexander Balitskii, Hawrilyuk M., Eliasz J., Balitska W, Kolesnikow W. Efektywnosc olejow roslinnych jako cieczy smarujaco-chlodzacych w obrobce skrawaniem stali wirnikowych // Obrobka skrawaniem – 9.- Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Edwarda Miko // IX Szkola Obrobki Skrawaniem, Sandomierz Kielce, 2015. – S. 168-176. http://www.mechanik.media.pl/pliki/do_pobrania/artykuly/22/21_168_176.pdf

15. 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.

16. Balitskii A., Hawrilyuk M., Eliasz J., Balitska W., Kolesnikow W. Efektywnosc olejow roslinnych jako cieczy smarujaco-chlodzacych w obrobce skrawaniem stali wirnikowych // Mechanik. – 2015. – N 8-9.–S.722.

17. Balitskii A., Balitska V. Degradacja materiałów turbogeneratora elektrowni jądrowej i zaawansowane technologie remontu wirnika chłodzonego wodorem. Przemysl Chemiczny, 104(5), 2025, s. 1024-1030. Balitskii A., Balitska V. Degradation of the turbogenerator materials in nuclear power plants and advanced repair technologies of hydrogen cooled rotor. Przemysl Chemiczny, 104(12), 2025, p.1024-1030. https://doi.org/10.15199/62.2025.12.2

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 // Mechanik. – 2016. – N 10. – S. 1412-1413. http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2016.10.387

19. 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

20. Balitskii, A.I.; Syrotyuk, A.M.; Kolesnikov, V.O.; Balitska, V.O.; Ivaskevych, L.M.; Havrilyuk, M.R. The Effect of Absorbed Hydrogen on the Rotors of Steel Machining Products During Powerful Turbo Aggregate Repairs. Materials. 2024, 17, 6257. https://doi.org/10.3390/ma17246257

21. Balitskii, A.I.; Syrotyuk, A.M.; Havrilyuk, M.R.; Balitska, V.O.; Kolesnikov, V.O.; Ivaskevych, L.M. Hydrogen Cooling of Turbo Aggregates and the Problem of Rotor Shafts Materials Degradation Evaluation. Energies. 2023, 16, 7851. https://doi.org/10.3390/en16237851

22. Balitskii Alexander. III Ogólnopolska Konferencja „H2Szczecin. Wodór napędem regionu". Przemysl Chemiczny, 104(3), 2025, s.343-345. Balitskii Alexander. III Nationwide scientific and technical conference: "$H_2$Szczecin, Hydrogen as the driving force of the region". Przemysl

Chemiczny, 104(3), 2025, p. 343-345. https://przemyslchemiczny.com/przemysl-chemiczny-3-2025/

***Балицька Валентина Олексіївна*** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та хімії горіння інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (79000, м. Львів, вул. 79000, Львів, вул. Клепарівська, 35, ауд. 402, e-mail: v.balytska@ldubgd.edu.ua, vbalitska@yahoo.com).

***Балицький Олександр Іванович*** – доктор техн. наук, провідний науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, Західнопоморський технологічний університет у Щеціні (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 70-310, Алея Піястів, 17, м. Щецин, Польща, ауд. 210. e-mail: alexanderbalitskii64@gmail.com).

***Колесніков Валерій Олександрович*** – кандидат техн. наук, науковий науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу ЛНУ ім. Тараса Шевченка (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

***Абрамек Кароль Францішек*** – д-р інж., завідувач кафедри експлуатації автомоблів, Західнопоморський технологічний університет у Щецині (Aleja Piastów 17, ауд. 101, 204, 70-310 Щецин, Польща, e-mail: kabramek@zut.edu.pl).

***Balitska Valentina*** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Chemistry of Combustion, Institute of Fire and Technogenic Safety, Lviv State University of Life Safety (35 Kleparivska St., room 34, Lviv 79000, Ukraine); e-mail: v.balytska@ldubgd.edu.ua, vbalitska@yahoo.com).

***Balitskii Olexsander*** – Doctor of Technical Sciences, 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; Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, West Pomeranian University of Technology in Szczecin (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 17 Piastów Ave., Room 210, 70-310 Szczecin, Poland; e-mail: alexanderbalitskii64@gmail.com).

***Kolesnikov Valerii*** – Candidate of Technical Sciences, 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; Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Luhansk Taras Shevchenko National University (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 2 Viktora Novikova St., Lubny 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: kolesnikov197612@gmail.com)

***Karol Franciszek Abramek*** – dr inż., Head of Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, (17 Piastow Av., room 101, 204, 70-310 Szczecin, Poland), e-mail: kabramek@zut.edu.pl).

УДК 620.22:620.193.5:621.762:629

**Балицький О.І., Колесніков В.О., Балицька В.О.,**
**Кравчик М., Круліковскі М., Уяндіран А.С.**

# ОЦІНЮВАННЯ МЕТАЛЕВИХ, ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ, ОТРИМАНИХ ТЕХНОЛОГІЯМИ 3D-ДРУКУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СУМІСНОЇ З ВОДНЕМ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

*У роботі розглянуто перспективи застосування металевих, полімерних та композитних матеріалів, виготовлених за допомогою технологій 3D-друку, для створення елементів транспортної інфраструктури, сумісної з водневими енергетичними системами. Показано роль водню як перспективного енергоносія для екологічно чистого транспорту, зокрема автомобілів, автобусів, поїздів, морських суден та авіації. Проаналізовано принципи роботи електролізерів і паливних елементів, що забезпечують виробництво та використання водню. Особливу увагу приділено дослідженню можливостей адитивного виробництва для створення функціональних елементів водневих систем із застосуванням різних матеріалів: PLA-полімерів, полімерів із металевими наповнювачами, електропровідних волокон, а також високоміцних полімерів PEEK, MDPE, HDPE та композитів типу CF-PLA. Проаналізовано вплив температури та тиску на втрати водню під час транспортування та експлуатації матеріалів. Показано, що проникнення водню через полімерні трубопроводи має відносно низький рівень і не створює критичних втрат газу за реальних умов експлуатації. Отримані результати підтверджують перспективність застосування нових матеріалів, виготовлених методами адитивних технологій, для створення безпечної та ефективної водневої транспортної інфраструктури.*

***Ключові слова:*** *воднева енергетика, водневий транспорт, 3D-друк, адитивні технології, полімерні матеріали, композитні матеріали, металеві матеріали, проникність водню, паливні елементи, електролізер, транспортна інфраструктура.*

*The paper considers the prospects of using metallic, polymer, and composite materials manufactured using 3D printing technologies for the development of hydrogen-compatible transport infrastructure components. The role of hydrogen as a promising energy carrier for environmentally friendly transport, including cars, buses, trains, marine vessels, and aircraft, is analyzed. The principles of operation of electrolyzers and fuel cells used for hydrogen production and utilization are described. Particular attention is paid to the potential of additive manufacturing for producing functional elements of hydrogen systems using various advanced materials such as standard PLA, PLA with metal powders, conductive fibers, and high-performance polymers including PEEK, MDPE, HDPE, as well as composite materials like CF-PLA. The influence of temperature and pressure on hydrogen losses during transportation and operation of materials is analyzed. It is shown that hydrogen permeation through polymer pipelines remains relatively low and does not lead to critical gas losses under real operating conditions. The obtained results confirm the перспективність of applying new materials produced by additive technologies for the development of safe and efficient hydrogen transport infrastructure.*

***Key words:*** *hydrogen energy, hydrogen transport, 3D printing, additive manufacturing, polymer materials, composite materials, metallic materials, hydrogen permeation, fuel cells, electrolyzer, transport infrastructure.*

Перспективи використання водневої енергетики широкі – це транспорт, житловий сектор і енергетика. На водні їздитимуть автомобілі та гібридні автобуси (рис. 1а), поїзди (рис. 1 б), пароми (рис. 1в), ним можна заправляти літаки (рис. 1г), він не залишає шкідливих викидів та не завдає шкоди навколишньому середовищу.

Водень може замінити паливо в секторах де перехід на електрику неможливий з технічних причин – хімічна промисловість або металургія. Сучасна воднева енергетика повязана з «зеленим» воднем. Можливість застосування водневих технологій визначається високою теплотою згоряння водню та зниженням викиду парникових газів, оскільки продуктом згоряння є вода. Водень практично не зустрічається в природі в чистій формі і повинен вилучатись з інших сполук за допомогою різних хімічних методів, як правило, отриманим шляхом електролізу води, при якому вода розкладається на кисень і водень внаслідок пропускання через неї електричного струму.




а в

б г

Рисунок 1 – Водневі автомобілі та автобуси (а), поїзди (б), пароми (в), воднем можна заправляти літаки (г)

Пристроями для розкладання води на кисень і водень є електролізери. Електролізер використовує постійний електричний струм для розкладання води ($H_2O$) на водень $H_2$ і кисень $O_2$ у процесі електролізу. Під дією струму в електролітичному осередку позитивно заряджені йони рухаються до катода (відновлення), а негативні – до анода (окиснення), утворюючи бульбашки газів: вода розщеплюється на компоненти: водень виділяється на катоді (негативний електрод), а кисень – на аноді (позитивний електрод). Кількість водню, що утворюється, вдвічі перевищує кількість кисню. Оскільки чиста вода погано проводить струм, до неї часто додають солі, луги або кислоти для покращення провідності. Для підвищення коефіцієнта корисної дії та зменшення ефекту бульбашок, що прилипають до електродів, електролізери часто мають вертикально розташовані електроди, що сприяє природній циркуляції (рис. 2).

Проте основним недоліком водневої енергетики є висока ціна електролізера, особливо електролізерних станцій потужність до 3000 МВт. Щоб водень повністю міг замінити природний газ потрібно у 3-4 рази більші сховища, що призводить до великих витрат, проте зберігання енергії у формі водню дешевше у порівнянні з акумуляторами.

Водневі транспортні засоби приводять у рух водневі двигуни, що живляться від струму, отриманого в результаті електрохімічної реакції. Вона виникає, коли водень з'єднується з киснем під високим тиском. Таким чином, на відміну від електромобілів та автобусів (рис.1), які використовують енергію з батарей, водневі машини самостійно генерують електрику. Для цього застосовують паливні елементи, які використовують процес, відомий понад два століття – зворотний електроліз води. Водень надходить у паливні елементи, де вступає в реакцію з киснем, внаслідок чого утворюються електрони, які створюють електричний струм. Ця електрика накопичується в акумуляторі та використовується для приводу двигуна. Кінцевим продуктом такої реакції є вода – єдиний побічний продукт водневих автомобілів та інших транспортних засобів.

Водневий транспорт – це екологічно чисті транспортні засоби, що використовують водень як паливо для вироблення електроенергії через паливні елементи, виділяючи лише водяну пару (повна відсутність шкідливих речовин). Вони заряджаються за 3–5 хвилин, забезпечують запас ходу до 500+ км, але мають високу ціну та потребують розвитку інфраструктури.



Рисунок 2 – Типовий промисловий електролізер

Водневі автомобілі та автобуси не потребують великих акумуляторів, не виділяють шкідливих викидів і заряджається всього за 3 хвилини (див. рис. 1).

Популярністю користуються електромобілі та гібридні автомобілі та автобуси, які екологічніші у порівнянні з традиційними транспортними засобами. При створенні акумуляторів для цих машин використовуються рідкоземельні елементи, літій, кобальт.

До переваг водневого транспорту слід віднести: заповнення ємностей воднем за 3-5 хвилини; автомобілі на водні здатні долати понад 600 км на одній заправці, що поки недосяжно для більшості електромобілів; відсутність шкідливих викидів; компактні батареї у водневих автомобілях дають змогу зменшити споживання літію і кобальту, видобуток яких викликає проблеми. До недоліків слід віднести: вироблення 1 кг водню потребує значних витрат енергії (55-70 кВт/год); відносно висока вартість.

Перспективним напрямком застосування нових матеріалів у воднемому транспорті є виготовлення вибраного компонента водневого двигуна або системи за допомогою 3D-друку та аналіз його властивостей з використанням різних передових матеріалів (наприклад, стандартного PLA, PLA з порошком заліза, PLA зі сталевим порошком, електропровідного волокна, PEEK, MDPE, HDPEs тощо, використання композиту CF-PLA (з вуглецевим волокном) у вибраному компоненті водневої системи та аналіз механічних та функціональних відмінностей порівняно з традиційними матеріалами. Втрати водню демонструють експоненціальну залежність від температури та лінійну залежність від тиску, але навіть на верхніх межах (температура 350 K та тиск 15 бар) щоденні втрати залишалися в межах прийнятних значень для трубопровідного транспорту. Втрати водню, пов'язані з проникненням, через трубопроводи наприклад з MDPE та HDPE не є значними порівняно з потенціалом транспортування водню. Це підтверджує доцільність адаптації нових конструкційних матеріалів для інфраструктури водневих енергетичних систем у транспорті без значних занепокоєнь щодо показників втрат газоподіюбного водню. За допомогою термодесорбційного аналізу та прямих вимірювань проникності труб було кількісно визначено швидкість втрат водню, що виявило мінімальні втрати проникності за реальних умов експлуатації (за кімнатної температури та стандартного робочого тиску від 2 до 15 бар).

**Список використаних джерел**

1. Balitskii A., Balitska V. Degradacja materiałów turbogeneratora elektrowni jądrowej i zaawansowane technologie remontu wirnika chłodzonego wodorem. Przemysl Chemiczny, 104(5), 2025, s. 1024-1030. Balitskii A., Balitska V. Degradation of the turbogenerator materials in nuclear power plants and advanced repair technologies of hydrogen cooled rotor. Przemysl Chemiczny, 104(12), 2025, p.1024-1030. https://doi.org/10.15199/62.2025.12.2
2. 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

3. Balitskii, A.I.; Syrotyuk, A.M.; Kolesnikov, V.O.; Balitska, V.O.; Ivaskevych, L.M.; Havrilyuk, M.R. The Effect of Absorbed Hydrogen on the Rotors of Steel Machining Products During Powerful Turbo Aggregate Repairs. Materials. 2024, 17, 6257. https://doi.org/10.3390/ma17246257

4. Balitskii, A.I.; Syrotyuk, A.M.; Havrilyuk, M.R.; Balitska, V.O.; Kolesnikov, V.O.; Ivaskevych, L.M. Hydrogen Cooling of Turbo Aggregates and the Problem of Rotor Shafts Materials Degradation Evaluation. Energies. 2023, 16, 7851. https://doi.org/10.3390/en16237851

5. Balitskii Alexander. III Ogólnopolska Konferencja „H2Szczecin. Wodór napędem regionu". Przemysl Chemiczny, 104(3), 2025, s.343-345. Balitskii Alexander. III Nationwide scientific and technical conference: "H2Szczecin, Hydrogen as the driving force of the region". Przemysl Chemiczny, 104(3), 2025, p. 343-345. https://przemyslchemiczny.com/przemysl-chemiczny-3-2025/

6. Balitskii Alexander. Kompendium wodorowe. Wodór na XXXIV Forum Ekonomicznym w Karpaczu. Przemysl Chemiczny, 104(11), 2025, s.1058-1059. Balitskii Alexander. Hydrogen Compendium. Hydrogen at the 34th Economic Forum in Karpacz. Przemysl Chemiczny, 104(11), 2025, s.1058-1059. https://przemyslchemiczny.com/przemysl-chemiczny-11-2025/

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. Колесніков, В. О. Впровадження водневих технологій на транспорті та суміжних галузях // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XVI міжнар. наук.-практ. конф. (23–25 жовт. 2023 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 179–181. ISBN 978-966-641-950-0.

***Балицький Олександр Іванович*** – доктор техн. наук, провідний науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, Західнопоморський технологічний університет у Щеціні (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 70-310, Алея Піастів, 17, м. Щецин, Польща, ауд. 210. e-mail: alexanderbalitskii64@gmail.com).

***Колесніков Валерій Олесандрович*** – кандидат техн. наук, науковий науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу ЛНУ ім. Тараса Шевченка (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

***Балицька Валентина Олексіївна*** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та хімії горіння інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (79000, м. Львів, вул. 79000, Львів, вул. Клепарівська, 35, ауд. 402, e-mail: v.balytska@ldubgd.edu.ua, vbalitska@yahoo.com).

***Кравчик Марта*** – д-р інж., завідувач кафедри технології виробництва, кафедра машинобудування та мехатроніки, Західнопоморський технологічний університет у Щецині (Aleja Piastów 19, ауд. 231, 70-310 Щецин, Польща, e-mail: Marta.Krawczyk@zut.edu.pl).

***Круліковскі Марцін Андржей*** – д-р інж., кафедра технології виробництва, Західнопоморський технологічний університет у Щецині (Aleja Piastów 19, ауд. 130, 70-310 Щецин, Польща; e-mail: marcin.krolikowski@zut.edu.pl).

***Уяндіран Алі Сарп*** – аспірант, Чеський технічний університет у Празі, факультет машинобудування, кафедра вимірювальної техніки та керування (Technická 1902/2, ауд. 314A, 166 27 Praha 6 – Dejvice, Чеська Республіка; e-mail: uyandali@cvut.cz).

***Balitskii Olexsander*** – Doctor of Technical Sciences, 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; Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, West Pomeranian University of Technology in Szczecin (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 17 Piastów Ave., Room 210, 70-310 Szczecin, Poland; e-mail: alexanderbalitskii64@gmail.com).

***Kolesnikov Valerii*** – Candidate of Technical Sciences, 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; Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Luhansk Taras Shevchenko National University (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 2 Viktora Novikova St., Lubny 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: kolesnikov197612@gmail.com)

***Balitska Valentina*** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Chemistry of Combustion, Institute of Fire and Technogenic Safety, Lviv State University of Life Safety (35 Kleparivska St., room 34, Lviv 79000, Ukraine); e-mail: v.balytska@ldubgd.edu.ua, vbalitska@yahoo.com).

***Krawzyk Marta*** – dr inż., Head of Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, (19 Piastow Av., room 231, 70-310 Szczecin, Poland), e-mail: Marta.Krawczyk@zut.edu.pl).

***Królikowski M.A.*** – Dr inż., Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, West Pomeranian University of Technology in Szczecin,19 Piastow Av., room 130, 70-310, Szczecin, Poland, e-mail: marcin.krolikowski@zut.edu.pl).

***Uyandiran Ali Sarp*** – PhD Student Technical University in Prague Faculty of Mechanical Engineering Department of Instrumentation and Control Engineering, Technická 1902/2, 166 27 Praha 6 – Dejvice, room 314A, Czech Republic, e-mail: uyandali@cvut.cz).

УДК 621.891:620.193.5:629.3

**Балицький О.І., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Гаврилюк М.Р., Громовий С.М.**

# ЗМАЩУВАЛЬНІ РІДИНИ ЯК ФАКТОР РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНЕВОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ТА ПОШКОДЖУВАНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*У роботі розглянуто роль змащувальних і змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР) як важливого фактора регулювання процесів водневої деградації конструкційних матеріалів у сучасних умовах розвитку водневої енергетики та транспорту. Показано, що склад і фізико-хімічні властивості ЗОР істотно впливають на дифузію водню, його накопичення у приповерхневих шарах і механізми руйнування металів. Встановлено взаємозв'язок між типом мастильного середовища та морфологією стружки і продуктів зношування, що може бути використано для діагностики ступеня водневої пошкоджуваності. Обґрунтовано, що ЗОР можуть виконувати як функцію джерела, так і бар'єра для водню, змінюючи трибохімічні процеси в зоні контакту. Особливу увагу приділено транспортним системам і елементам воднево інфраструктури, де ці ефекти визначають довговічність і надійність деталей та елементів конструкцій. Визначено перспективність створення нових змащувальних середовищ для керування водневою активністю та підвищення ресурсу матеріалів.*

***Ключові слова:*** *воднева деградація, водневе окрихчення, змащувальні рідини, змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР), дифузія водню, трибологія, трибохімічні процеси, зношування, стружка, продукти зношування, конструкційні матеріали, транспортні системи, воднева інфраструктура, довговічність.*

*The paper examines the role of lubricants and lubricant–cooling fluids (metalworking fluids, MWFs) as an important factor in regulating hydrogen degradation processes in structural materials under modern conditions of hydrogen energy and transport development. It is shown that the composition and physicochemical properties of MWFs significantly influence hydrogen diffusion, its accumulation in near-surface layers, and the mechanisms of metal failure.*

*A relationship between the type of lubricating medium and the morphology of chips and wear debris is established, which can be used to diagnose the degree of hydrogen-induced damage. It is substantiated that MWFs may act both as a source and as a barrier for hydrogen, modifying tribochemical processes in the contact zone.*

*Particular attention is paid to transport systems and components of hydrogen infrastructure, where these effects determine the durability and reliability of parts and structural elements. The nepспективність of developing new lubricating media for controlling hydrogen activity and enhancing material service life is highlighted.*

***Key words:*** *hydrogen degradation, hydrogen embrittlement, lubricants, metalworking fluids (MWFs), hydrogen diffusion, tribology, tribochemical processes, wear, chips, wear debris, structural materials, transport systems, hydrogen infrastructure, durability, material reliability.*

У сучасних умовах розвитку водневої енергетики та транспортних систем особливого значення набуває проблема водневої деградації конструкційних матеріалів, яка проявляється у зниженні міцності, тріщиностійкості та зносостійкості металів [1-7].

Одним із ключових, але недостатньо врахованих факторів впливу на процеси водневої деградації є змащувальні та змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР), які формують фізико-хімічні умови в зоні контакту тертя та різання [8-22].

Дослідження показують, що склад і властивості ЗОР суттєво впливають на концентрацію водню в приповерхневих шарах металів і продуктах зношування. Зокрема, у роботі [23] встановлено, що водень активно проникає в зону зародження тріщин і змінює механізми руйнування матеріалу.

Встановлено, що використання різних типів змащувальних середовищ (рідких, твердих,

газових) призводить до зміни морфології стружки та продуктів зношування, що може бути використано як діагностичний критерій ступеня водневої деградації.

Показано, що змащувальні рідини можуть виступати не лише як середовище переносу тепла і зменшення тертя, але і як джерело або бар'єр для водню, залежно від їх хімічного складу та наявності активних компонентів.

На рисунку 1 наведено колаж, що ілюструє комплексний підхід до використання змащувальних рідин як фактора регулювання водневої деградації конструкційних матеріалів.




Рисунок 1 – Колаж, що ілюструє комплексний підхід до використання змащувальних рідин як фактора регулювання водневої деградації конструкційних матеріалів

У роботі [24] показано, що застосування екологічно безпечних водневмісних або біорозкладних змащувально-охолоджувальних рідин на основі рослинних олив може істотно впливати на процеси дифузії водню та механізми руйнування металів. Встановлено, що використання ЗОР сприяє інтенсифікації проникнення водню у приповерхневі шари та продукти обробки, зокрема у стружку, що свідчить про активну участь мастильного середовища у трибохімічних процесах.

У транспортній галузі це має критичне значення для деталей двигунів внутрішнього згоряння, водневих двигунів та елементів водневої інфраструктури (трубопроводи, компресори, турбіни), де відбувається інтенсивна взаємодія матеріалів з воднем.

У роботі [25] показано, що у вузлах тертя поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння при використанні водневмісного палива та екологічно безпечних змащувально-охолоджувальних рідин змінюються інтенсивність зношування та механізми трибологічної взаємодії матеріалів.

Таким чином, цілеспрямований підбір складу змащувальних рідин дозволяє регулювати процеси водневої деградації шляхом:

- контролю дифузії водню;
- формування захисних трибоплівок;
- зміни механізмів руйнування матеріалу.

Перспективним напрямом є створення нових змащувальних середовищ (композицій) із заданими функціями регулювання водневої активності в зоні контакту.

Отже, змащувальні рідини слід розглядати як ефективний інструмент керування водневою пошкоджуваністю конструкційних матеріалів у транспорті та енергомашинобудуванні,

особливо в умовах розвитку водневої інфраструктури.

**Список використаних джерел**

1. Barrera, O.; Bombac, D.; Chen, Y.; Daff, T.D.; Galindo-Nava, E.; Gong, P.; Haley, D.; Horton, R.; Katzarov, I.; Kermode, J.R.; Liverani, C.; Stopher, M.; Sweeney, F. Understanding and mitigating hydrogen embrittlement of steels: A review of experimental, modelling and design progress from atomistic to continuum. J. Mater. Sci. 2018, 53, 6251–6290. https://doi.org/10.1007/s10853-017-1978-5
2. Yu, H.; Díaz, A.; Lu, X.; Sun, B.; Ding, Y.; Koyama, M.; He, J.; Zhou, X.; Oudriss, A.; Feaugas, X.; Zhang, Z. Hydrogen Embrittlement as a Conspicuous Material Challenge—Comprehensive Review and Future Directions. Chem. Rev. 2024, 124(10), 6271–6392. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00624
3. Chen, Y.-S.; Huang, C.; Liu, P.-Y.; Yen, H.-W.; Niu, R.; Burr, P.; Moore, K.L.; Martínez-Pañeda, E.; Atrens, A.; Cairney, J.M. Hydrogen Trapping and Embrittlement in Metals—A Review. arXiv 2024, arXiv:2404.07736. https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.07736
4. Javeria, U.; Kim, S.J. Investigation of hydrogen embrittlement in steel alloys: Mechanism, factors, advanced methods and materials, applications, challenges, and future directions: A review. J. Mater. Res. Technol. 2025, 38, 1276–1301. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.07.269
5. Ghadiani, H.; Farhat, Z.; Alam, T.; Islam, M.A. Fracture Toughness Assessment of Pipeline Steels Under Hydrogen Exposure for Blended Gas Applications. Metals 2025, 15, 29. https://doi.org/10.3390/met15010029
6. Zhang, L.; Xu, L.; Zhang, G.; Zhang, H.; Jiang, Q.; Yin, S. Numerical Simulation of the 65Mn-Cr Steel Slab Solidification Process and Analysis of the Formation Mechanism of Internal Cracks. Materials 2025, 18, 872. https://doi.org/10.3390/ma18040872
7. Dwivedi, S.K.; Vishwakarma, M. Hydrogen embrittlement in different materials: A review. Int. J. Hydrogen Energy 2018, 43(46), 21603–21616. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.201
8. Балицький О. І., Гаврилюк М. Р., Колесніков В. О. Екологічно чиста змащувально-охолоджуюча рідина для механічної обробки сталі (Ecologycally clean lubricant-cooling liquid for steel machining) // 12-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові, 28–29 травня 2015 р.: матеріали. Львів, 2015. С. 80–81.
9. Балицький О.І., Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р., Ріпей І.В., Гарда В.М., Нестеров А.О. Дослідження змащувальних охолоджуючих рідин для обробки деталей транспорту // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 67 -73.
10. Балицький О.І., Гаврилюк М.Р., Дев'яткін Р.М., Колесніков В.О., Федусів І.Р. Концентрат змащувально-охолоджуючої рідини для механічної обробки сталей: пат. 106988 України: МПК C10M 173/00, C10M 133/06, C10M 129/56; заявл. 21.12. 15; опубл. 10.05. 16. Бюл. № 9. 4 с.
11. Дослідження впливу змащувально-охолоджувальних рідин на оброблюваність високоміцних металів // О. Балицький, М. Гаврилюк, В. Колесніков // Тез. доп. 5-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій». 27-28 жовтня – Львів: КІНПАТРІ ЛТД. – 2016. – С. 17-18.
12. 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 учб. літ. Київ, 2017. – С. 418-422.
13. Балицький О.І., В. О. Колесніков, Гаврилюк М. Р. Вплив змащувальної охолоджувальної рідини на формування продуктів різання сталі 38ХН3МФА // Фізико -хімічна механіка матеріалів. – 2018. - № 5 – 103-107.
14. Yurtkuran, H.; Günay, M.; Rai, R. A state of the art on sustainable metal working fluids in machining applications. J. Mol. Eng. Mater. 2024, 12(3), 2440013. https://doi.org/10.1142/

S2251237324400136
15. Балицький О., Колесніков В., Еліаш Я., Гаврилюк М. Вплив типу металевої матриці на механічну оброблюваність сталей та сплавів для енергетики. Міжнародний симпозіум інженерів-механіків у Львові: 14–й міжн. наук.-техн. конф., 23–24 трав. 2019 р.: тези доповідей. Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2019. С. 6–8.
16. Балицький О.І., Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р. Вплив модифікування сталі 38ХН3МФА на структурно-фазовий стан та продукти різання за зміни технологічних умов. Фізико - хімічна механіка матеріалів. 2019. Т.55, № 6. С. 125 - 130.
17. Колесніков В.О., Шуліка С.О., Гаврилюк М.Р. Мастильні матеріали для транспортної галузі та енергомашинобудування. Частина 1. Деякі поради щодо застосування. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 166–178.
18. Колесніков В.О., Шуліка С.О., Гаврилюк М.Р. Мастильні матеріали для транспортної галузі та енергомашинобудування. Частина 2. Приклади випробувань. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 179–189.
19. Attanasio, A.; Gelfi, M.; Giardini, C.; Remino, C. Minimal quantity lubrication in turning: Effect on tool wear. Wear 2006, 260(3), 333–338. https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.04.024
20. Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Бикадорова Н. О., Колеснікова Є. Б. Приклади застосування та впровадження нових технологій в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Частина 1. Змащувальні матеріали. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: X-та міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2022 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 139–146.
21. Колесніков Валерій, Балицький Олександр, Гаврилюк Марія, Іваськевич Любомир. Корозійні властивості роторної сталі у різних змащувально-охолоджувальних рідинах. Міжнар. конф. з хімії, хімічної технології та екології, присвяченій 125-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського. Збірка тез доповідей 26-29 вересня 2023 р. Київ. 2023. С. 283-285.
22. Brinksmeier, E.; Meyer, D.; Huesmann-Cordes, A.G.; Herrmann, C. Metalworking fluids—Mechanisms and performance. CIRP Ann. 2015, 64(2), 605–628. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.05.003
23. Kolesnikov, V.O.; Balitskii, A.I.; Eliasz, J.; Havrylyuk, M.R. Hydrogen effect on the high-nickel surface steel properties during machining and wear with lubricants, Archives of Materials Science and Engineering 2020, 104/2, 49-57. DOI: https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.4894
24. Balitskii, A.I.; Havrilyuk, M.R.; Balitska, V.O.; Kolesnikov, V.O.; Ivaskevych, L.M. Increasing Turbine Hall Safety by Using Fire-Resistant, Hydrogen-Containing Lubricant Cooling Liquid for Rotor Steel Mechanical Treatment. Energies 2023, 16, 535. https://doi.org/10.3390/en16010535
25. Balitskii, A.; Kolesnikov, V.; Abramek, K.F.; Balitskii, O.; Eliasz, J.; Marya, H.; Ivaskevych, L.; Kolesnikova, I. Influence of Hydrogen-Containing Fuels and Environmentally Friendly Lubricating Coolant on Nitrogen Steels' Wear Resistance for Spark Ignition Engine Pistons and Rings Kit Gasket Set. Energies 2021, 14, 7583. https://doi.org/10.3390/en14227583

***Балицький Олександр Іванович*** – доктор техн. наук, провідний науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, Західнопоморський технологічний університет у Щеціні (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 70-310, Алея Піястів, 17, м. Щецин, Польща, ауд. 210. e-mail: alexanderbalitskii64@gmail.com).
***Колесніков Валерій Олександрович*** – кандидат техн. наук, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу ЛНУ ім. Тараса Шевченка (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

***Іваськевич Любомир Михайлович*** – кандидат техн. наук, старший науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, e-mail: lyubom538@gmail.com).

***Гаврилюк Марія Романівна*** – кандидат техн. наук, старший науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, e-mail: gamaro1957@gmail.com).

***Громовий Сергій Миколайович*** – здобувач вищої освіти 4 курсу першого (бакалаврського) рівня спеціальності «Професійна освіта. Транспорт» кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультету технологій та інформаційних систем ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна).

***Balitskii Olexsander*** – Doctor of Technical Sciences, 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; Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, West Pomeranian University of Technology in Szczecin (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 17 Piastów Ave., Room 210, 70-310 Szczecin, Poland; e-mail: alexanderbalitskii64@gmail.com).

***Kolesnikov Valerii*** – Candidate of Technical Sciences, 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; Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Luhansk Taras Shevchenko National University (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 2 Viktora Novikova St., Lubny 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: kolesnikov197612@gmail.com)

***Ivaskevych, Ljubomyr*** – Candidate of Technical Sciences, 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 (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; e-mail: lyubom538@gmail.com).

***Havrilyuk, Maria*** – Candidate of Technical Sciences, 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 (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; e-mail: gamaro1957@gmail.com).

***Gromovy Serhiy*** – a 4th-year student of the first (Bachelor's) level of higher education in the specialty "Professional Education. Transport", Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Taras Shevchenko Luhansk National University (2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava region, Ukraine).

УДК 629.113.012.1:658.562:004.94

**Бегерський Д.Б.**

# РОЗВИТОК ПАРАМЕТРИЧНО ОБҐРУНТОВАНИХ МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ

*Обґрунтовано актуальність удосконалення систем контролю якості деталей автомобілів в умовах зростання навантажень і підвищених вимог до безпеки дорожнього руху. Запропоновано інтеграцію параметричного аналізу, сучасних методів неруйнівного контролю та ризик-орієнтованого підходу до оцінювання технічного стану деталей.*

***Ключові слова:*** *контроль якості, надійність, неруйнівний контроль, ризик-орієнтовані моделі, параметрично орієнтований підхід.*

*The relevance of improving quality control systems for automobile parts in the conditions of increasing loads and increased requirements for road safety is substantiated. The integration of parametric analysis, modern methods of non-destructive testing and a risk-oriented approach to assessing the technical condition of parts is proposed.*

***Keywords:*** *quality control, reliability, non-destructive testing, risk-oriented models, parametrically oriented approach.*

***Актуальність проблеми***

Сучасний автомобільний транспорт функціонує в умовах інтенсифікації навантажень, зменшення масовогабаритних характеристик конструкцій, широкого застосування високоміцних сталей, алюмінієвих сплавів, композиційних матеріалів і новітніх технологій обробки. Підвищення питомої потужності силових агрегатів, розвиток електромобільності, застосування систем активної безпеки та автоматизованого керування висувають нові вимоги до надійності конструкційних елементів автомобілів.

У цих умовах якість деталей автомобілів перестає бути лише виробничою категорією та набуває системного значення як складова функціональної безпеки транспортного засобу. Відмови деталей гальмівної системи, елементів рульового керування, підвіски, трансмісії або енергетичних установок можуть призводити до втрати керованості, збільшення гальмівного шляху чи раптового блокування механізмів, що безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху.

Сучасні дослідження довговічності конструкцій підтверджують, що втома матеріалу залишається однією з головних причин відмов машинобудівних виробів [1]. При цьому зародження тріщин часто відбувається на мікрорівні й має прихований характер. Таким чином, виникає потреба у формуванні нової парадигми контролю якості — інтегрованої, параметрично обґрунтованої та ризик-орієнтованої.

***Втомне руйнування як домінуючий механізм відмов***

Переважна більшість деталей автомобілів працює в умовах циклічних або змінних навантажень. Колінчасті вали, шестерні, півосі, елементи підвіски, пружини, гальмівні диски – усі вони зазнають багаторазових циклів навантаження, що спричиняють накопичення пошкоджень.

Згідно з сучасними уявленнями про механізми втоми [1], зародження тріщин відбувається у локальних зонах концентрації напружень, зумовлених мікродефектами структури, неметалевими включеннями, порами або поверхневими нерівностями. Вирішальну роль відіграє стан поверхневого шару, де під дією циклічних напружень формується мікропластична деформація.

Дослідження останніх років доводять, що мікроструктурні особливості – розмір зерна, фазовий склад, текстура – істотно впливають на межу витривалості [1]. Таким чином, контроль геометричних параметрів без аналізу структурних характеристик не дозволяє об’єктивно

оцінити довговічність деталі.

Особливе значення мають залишкові напруження, що формуються під час механічної та термічної обробки. Залишкові напруження стиску здатні підвищувати опір зародженню тріщин, тоді як залишкові напруження розтягу – зменшують ресурс конструкції [2]. Тому контроль напруженого стану матеріалу повинен стати обов'язковим елементом системи забезпечення якості деталей автомобілів.

***Технологічна спадковість і формування експлуатаційних властивостей***

Експлуатаційні характеристики деталей визначаються не лише властивостями вихідного матеріалу, а й усією сукупністю технологічних операцій. Лиття, кування, термообробка, механічна обробка, поверхневе зміцнення – кожна операція формує структурні та геометричні параметри, що передаються наступним стадіям виробництва.

У сучасному машинобудуванні широко застосовуються методи високошвидкісної обробки, лазерного зміцнення, індукційної гартування, адитивні технології. Вони створюють складний розподіл температур і деформацій, що формує неоднорідний напружено-деформований стан. За даними сучасних досліджень [2], саме неконтрольовані залишкові напруження часто стають причиною передчасного руйнування деталей.

Технологічна спадковість проявляється також у збереженні мікродефектів, які виникли на ранніх стадіях виробництва. Якщо такі дефекти не були виявлені, вони можуть трансформуватися у центри зародження тріщин під час експлуатації. Тому система контролю повинна враховувати ключові параметри кожного етапу технологічного циклу.

***Обмеження традиційних систем контролю якості***

У практиці виробництва контроль якості часто обмежується перевіркою геометричних розмірів, шорсткості поверхні, твердості та окремих механічних характеристик. Неруйнівні методи контролю застосовуються переважно для виявлення вже сформованих дефектів значного розміру.

Однак сучасні вимоги до систем управління якістю передбачають ризик-орієнтований підхід і процесне управління [3]. В автомобільній галузі додатково впроваджуються принципи функціональної безпеки, що базуються на аналізі ризику та імовірності небезпечних відмов [4].

Недоліками традиційних підходів є:

– відсутність інтеграції з моделями прогнозування довговічності;

– реактивний характер діагностики;

– недостатній облік технологічної спадковості;

– недиференційований підхід до деталей різного рівня критичності.

У результаті контроль часто фіксує вже сформований дефект, не дозволяючи своєчасно попередити відмову.

***Цифровізація та інтелектуалізація процесів контролю якості***

Сучасний етап розвитку промисловості характеризується впровадженням концепції Industry 4.0, що передбачає цифрову інтеграцію виробничих процесів, використання сенсорних систем, великих масивів даних та алгоритмів машинного навчання. У сфері контролю якості це означає перехід від епізодичних вимірювань до безперервного моніторингу параметрів технологічних процесів і технічного стану деталей.

Поєднання методів неруйнівного контролю з цифровими системами обробки сигналів дозволяє підвищити чутливість і достовірність діагностики [5]. Аналіз спектрів акустичної емісії, фазових характеристик ультразвукових хвиль, магнітних параметрів поверхневого шару відкриває можливості для раннього виявлення мікропошкоджень.

Крім того, використання статистичних методів аналізу та алгоритмів прогнозування дає змогу формувати індивідуальні профілі надійності для різних типів деталей з урахуванням реальних умов їх експлуатації. Це створює передумови для переходу від регламентного обслуговування до обслуговування за технічним станом.

***Методологічні аспекти впровадження параметрично орієнтованого підходу***

Практична реалізація запропонованої концепції потребує розроблення чіткої методології

відбору та контролю критичних параметрів. Передусім необхідно визначити функціонально небезпечні елементи конструкції транспортного засобу та провести їх ранжування за рівнем впливу на безпеку руху. Для кожної групи деталей формуються параметричні профілі, що включають граничні значення структурних, геометричних і механічних показників.

Важливим етапом є встановлення кореляційних залежностей між контрольованими параметрами та показниками довговічності. Це передбачає проведення експериментальних досліджень втомної міцності, аналіз результатів прискорених ресурсних випробувань і статистичну обробку отриманих даних. На основі таких залежностей можуть бути сформовані критерії прийняття рішень щодо придатності деталі до експлуатації або необхідності її заміни.

Окремої уваги потребує інтеграція результатів контролю в інформаційні системи підприємства. Створення цифрових паспортів деталей, що містять дані про параметри матеріалу, технологічні режими та результати неруйнівного контролю, забезпечує простежуваність та можливість довгострокового аналізу надійності.

***Практичне значення впровадження***

Реалізація параметрично та ризик-орієнтованого підходу забезпечує:

– підвищення достовірності оцінювання технічного стану деталей;

– зменшення ймовірності раптових відмов;

– оптимізацію витрат на контроль за рахунок диференціації процедур;

– підвищення конкурентоспроможності продукції;

– підвищення безпеки дорожнього руху.

Отже, розвиток прогресивних технологій контролю якості та надійності деталей автомобілів є важливою складовою сучасної стратегії підвищення технічної безпеки транспортних засобів і відповідає глобальним тенденціям цифровізації та ризик-орієнтованого управління.

**Список використаних джерел**

1. Mughrabi H. Fatigue, an everlasting materials problem — still en vogue. *International Journal of Fatigue*. 2021. Vol. 151. 106373.

2. Prime M. B., Hill M. R. Residual stress, stress relief, and fatigue performance of structural materials. *Materials Science and Engineering A*. 2022. Vol. 846. 143290.

3. ISO 9001:2015/Amd 1:2024. Quality management systems — Requirements. Amendment 1: Climate action changes. Geneva : International Organization for Standardization, 2024.

4. ISO 26262-1:2018/Cor 1:2020. Road vehicles — Functional safety — Part 1: Vocabulary. Geneva : International Organization for Standardization, 2020.

5. Rao B. P. C. (Ed.). *Practical Non-Destructive Testing*. 3rd ed. Cambridge : Woodhead Publishing, 2021.

***Бегерський Дмитро Богданович*** – кандидат технічних наук, доцент кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту державного університету «Житомирська політехніка» (10005, Україна, м. Житомир, вул.Чуднівська, 103, e-mail: begerskiy@gmail.com)

***Beherskyi Dmytro*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor of the department of mechanical engineering and automobile transport, Zhytomyr Polytechnic State University (10005, Zhytomyr, Chudnivska St., 103, e-mail: begerskiy@gmail.com)

УДК 656.1/5

**Бех П.В., Пархоменко С.В.**

# ДЕЯКІ ПИТАННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ МАСОВИХ ВАНТАЖІВ

*Розглянуто деякі питання по організації перевезень масових вантажів. Розглянуто їхнє значення та місце у світовій логістиці. Можливості використання залізничного та автомобільного транспорту для підвищення ефективності таких перевезень.*

***Ключові слова:*** *автомобільні перевезення, залізничні перевезення, масові вантажі, система доставки вантажів.*

*Some issues of organizing transportation of bulk cargoes are considered. Their importance and place in world logistics are considered. Possibilities of using railway and road transport to increase the efficiency of such transportations.*

***Keywords:*** *road transportation, rail transportation, bulk cargo, cargo delivery system.*

Транспортування масових вантажів — це основа світової логістики та торгівлі. Щодня мільйони тон таких товарів, як рідке паливо, металеві руди, мінеральні добрива та рослинні олії, переміщуються по всьому світу морським, залізничним, автомобільним та повітряним транспортом. Незважаючи на те, що перевезення масових вантажів відкриває величезні перспективи для розвитку і торгівлі, воно супроводжується безліччю викликів – від логістичних до екологічних.

Які бувають види масових вантажів і як здійснюється процес їх транспортування? Масові вантажі (навалювальні вантажі, bulk cargo) – це вантажі, які перевозяться без упаковки, великими партіями, в насипі, наливі або газоподібному стані. На відміну від тарно-штучних вантажів (що перевозяться в контейнерах, на піддонах, в коробках), масові вантажі транспортуються безпосередньо в трюмах суден, резервуарах, цистернах або силосах. Вантажі поділяються на три основні категорії: насипні вантажі (dry bulk cargo), наливні вантажі (liquid bulk cargo), вантаж у газоподібній формі (gas cargo). До перевезення таких вантажів висуваються особливі вимоги. Як правило, вони вимагають спеціалізованої інфраструктури: стрічкових конвеєрів, трубопроводів, насосних станцій, резервуарів та інших систем, що забезпечують збереження і безпеку в дорозі.

Масові вантажі становлять понад 60% світового вантажообігу, що робить їх ключовим елементом глобальної економіки. Перевезення масових вантажів здійснюється за участю великої мережі портів, терміналів, логістичних операторів і спеціалізованих транспортних компаній. Приклади основних вантажів: нафта і нафтопродукти, руди металів, зернові культури, мінеральні добрива. Перевезення таких товарів у великих обсягах дозволяє істотно скоротити витрати на одиницю продукції, забезпечити безперебійність виробничих процесів і зберегти баланс між попитом і пропозицією на міжнародних ринках.

Автомобільний транспорт слід розглядати як доповнення до залізничного транспорту, а не як прямого конкурента. Зокрема, сферами застосування автомобільного транспорту можуть бути:

– транскордонна торгівля в невеликих обсягах;

– перевезення на далекі відстані, де відсутні залізничні лінії або вони не можуть забезпечити ефективні послуги для певних товарів (швидкопсувних, цінних тощо);

– як автомобільна складова в системі інтермодального залізничного транспорту.

Причому автомобільна частина маршруту, що з'єднує відправника (вантажоодержувача) і інтермодальний термінал або логістичний центр, може становити сотні і навіть тисячі кілометрів. Останній варіант є найбільш важливим з точки зору логістичних ланцюгів поставок і підвищення конкурентоспроможності. При цьому для досягнення ефективності перевезень ав-

томобільним транспортом на великі відстані важливо забезпечити узгоджені вагові та габаритні параметри для вантажних автомобілів уздовж основних маршрутів.

Автомобільним транспортом на міжнародних маршрутах перевозяться, головним чином, більш цінні, швидкопсувні та інші термінові вантажі. Найбільшу частку в міжнародних перевезеннях автомобільним транспортом в Україні в мирний час займали будівельні матеріали (понад 30%), продукти рослинного і тваринного походження, продукти харчування та інші – майже 35%. Однак перевезення даних вантажів здійснюється, головним чином, на невеликі відстані, на яких залізничні перевезення не ефективні.

Внаслідок того, що вантажовідправники прагнуть придбати транспортне обслуговування з високим рівнем якості за мінімальною вартістю, вибір ефективної системи доставки продукції має все більш посилюючий вплив на результати діяльності торговельних підприємств. Підвищення уваги до питань планування доставки продукції пояснюється скороченням тривалості логістичного циклу і необхідністю прискорення реагування на попит споживачів.

В дослідженнях, зроблених раніше, розглядаються тільки питання в плані планування виробництва, управління запасами, а такий важливий компонент як вибір системи доставки продукції і його вплив на результати діяльності підприємств є найменш дослідженим. На важливість цього аспекту вказує той факт, що за деякими видами продукції витрати на виробництво становлять лише близько 10% вартості продукції, що значно менше витрат на розподіл, у тому числі на доставку продукції. На проблему якості доставки продукції звертають увагу не тільки менеджери підприємств, у яких велика частка транспортної складової у вартості їх продукції, але й ті, у яких ця частка невелика, але через недостатньо високу якість доставки витрати на їх виробництво значні (неможливість застосування ефективних виробничих технологій, необхідність зберігання великих запасів, тощо).

Поняття «система доставки вантажів» включає всіх взаємопов'язаних і взаємодіючих учасників транспортного процесу, які виконують операції, пов'язані з переміщенням вантажу від вантажовідправника до вантажоодержувача (тобто перевезення, навантажувально-розвантажувальні роботи, зберігання, вантажопереробки тощо). Кожен учасник виконує певні функції, тим самим привносить щось конкретне в унікальні характеристики загальної системи.

В даний час особливу увагу слід приділяти процесу доставки як комплексу різних операцій. У цьому зацікавлені як відправники, так і одержувачі вантажів, оскільки вирішення окремих проблем доставки не дає належного результату і часто призводить до збільшення витрат.

**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. Бех, П. В., Лашков, О. В., Окороков, А. М., ЗарубА, О. В. (2025). Прийняття рішень по організації автомобільних перевезень в умовах невизначеності оцінок. Транспортні системи та технології перевезень, (30), 98–104. https://doi.org/10.15802/tstt2025/340144.

4. Бех, П. В., Лашков, О. В., Окороков, А. М.(2025). Організація міжнародних мультимодальних перевезень з врахуванням ризиків. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки»), Том 36 (75) № 1 2025, Частина 1, С. 283-288. DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.1.1/41.

***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

***Пархоменко Сергій Вікторович*** **–** б/с, б/з, аспірант кафедри транспортного сервісу та логістики, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, e-mail: s.v.parkhomenko@ust.edu.ua

***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

***Parkhomenko Serhii V.*** **–** without a degree, without academic title, assistant of the Department of Transport service and logistics, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, e-mail: s.v.parkhomenko@ust.edu.ua

УДК 629.113:658.562:658.58

**Бикадорова Н.О., Бурдун В.В., Рожкова А.Ю, Ревякіна О.О., Бовет Д.О., Зиков С.А.**

# МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОНАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РЕМОНТНИХ РОБІТ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

*У роботі розглянуто методичні підходи до виконання та контролю якості ремонтних робіт транспортних засобів. Показано, що ефективність експлуатації автомобільної техніки значною мірою визначається рівнем організації ремонтних процесів, які базуються на нормативних вимогах та принципах процесного управління якістю. Проаналізовано основні етапи виконання ремонту — від діагностування до вихідного контролю та документування результатів. Особливу увагу приділено діагностично-орієнтованому підходу, ризик-орієнтованому контролю із застосуванням FMEA, а також операційному та фінальному контролю якості. Обґрунтовано необхідність інтеграції сучасних методів управління якістю, що дозволяє підвищити надійність транспортних засобів, зменшити кількість відмов і забезпечити стабільність результатів ремонтних робіт.*

***Ключові слова:*** *якість ремонту; транспортні засоби; технічне обслуговування; діагностування; ремонтні роботи; контроль якості; ризик-орієнтований підхід; FMEA; процесний підхід; ISO 9001; IATF 16949; автосервіс; надійність; безпека; технічний стан; документування; вихідний контроль.*

*The paper considers methodological approaches to the execution and quality control of vehicle repair works. It is shown that the efficiency of vehicle operation is largely determined by the level of organization of repair processes, which are based on regulatory requirements and the principles of process-oriented quality management. The main stages of repair implementation are analyzed, from diagnostics to final inspection and documentation of results. Particular attention is paid to the diagnostic-oriented approach, risk-based control using FMEA, as well as operational and final quality control. The necessity of integrating modern quality management methods is substantiated, which makes it possible to improve vehicle reliability, reduce the number of failures, and ensure the stability of repair results.*

***Key words:*** *repair quality; vehicles; maintenance; diagnostics; repair works; quality control; risk-based approach; FMEA; process approach; ISO 9001; IATF 16949; automotive service; reliability; safety; technical condition; documentation; final inspection.*

Ефективність експлуатації транспортних засобів значною мірою залежить від якості технічного обслуговування і ремонту, оскільки саме ремонтні втручання забезпечують відновлення працездатності, безпеки та нормативних технічних характеристик автомобіля. В Україні вимоги до організації таких робіт визначаються, зокрема, Положенням про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту та Правилами надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів, а також Технічним регламентом з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів. Ці документи формують нормативну основу для стандартизації ремонтних процесів, вимог до виконавця послуг, оформлення документації та контролю результатів ремонту [1-3].

Методично виконання ремонтних робіт доцільно розглядати як послідовність взаємопов’язаних етапів: вхідне діагностування технічного стану, дефектування, планування технології ремонту, підбір запасних частин і матеріалів, безпосереднє виконання операцій, проміжний контроль, вихідні випробування та документальне підтвердження якості. Такий процесний підхід узгоджується з принципами ISO 9001:2015, де якість досягається через керування процесами, ризик-орієнтоване мислення та постійне вдосконалення системи. Для підприємств автомобільного профілю додатково орієнтиром виступає IATF 16949, яке акцентує увагу на запобіганні дефектам, зменшенні варіацій і втрат у виробничо-сервісному

ланцюгу [4-6].

На кафедрі професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу факультету технологій та інформаційних систем ЛНУ ім. Тараса Шевченка проводиться систематичне узагальнення інформації, яке стосується ремонту автомобільної техніки [7-16]. До цього процесу постійно долучаються студенти різних курсів навчання [16-26].

Одним із ключових методичних підходів є діагностично-орієнтований ремонт, за якого рішення про обсяг і характер втручання приймаються не за формальною ознакою пробігу, а на основі об'єктивних результатів контролю. Це особливо важливо для сучасних транспортних засобів, де технічний стан систем двигуна, трансмісії, ходової частини, електронних модулів і систем активної безпеки повинен оцінюватися із застосуванням комп'ютерної діагностики, функціональних тестів і вимірювальних процедур. Наукові праці з моделювання сервісних процесів в автомобільних ремонтних організаціях показують, що формалізація послідовності операцій, контрольних точок та обміну інформацією підвищує стабільність результатів ремонту і керованість сервісного процесу [27, 28].

Важливим підходом до забезпечення якості є ризик-орієнтований контроль, коли потенційні відмови аналізуються ще до початку або в процесі ремонту. Для цього доцільно використовувати інструменти типу FMEA, які дозволяють виявити можливі дефекти, їхні причини, наслідки та визначити пріоритети запобіжних дій. У науковій літературі FMEA розглядається як один із базових інструментів управління якістю, придатний для підвищення надійності процесів, зокрема й у транспортній та автомобільній сфері. У практиці ремонту транспортних засобів це означає виділення критичних операцій: гальмівна система, рульове керування, підвіска, кріплення коліс, паливна апаратура, електросистеми та електронні блоки керування [29, 30].

Окрему роль відіграє операційний контроль якості, який повинен охоплювати не лише фінальну перевірку, а й усі критичні стадії ремонту. До такого контролю належать перевірка відповідності запасних частин і витратних матеріалів, дотримання технологічних параметрів складання, моментів затягування різьбових з'єднань, регулювальних параметрів, герметичності систем, а також контроль правильності налаштування електронних систем після ремонту. Сучасні дослідження у сфері автомобільного сервісу підкреслюють, що інтеграція процесного моніторингу, принципів Lean, Kaizen і Poka-Yoke дає змогу зменшувати повторні звернення, кількість переробок і покращувати відтворюваність якості виконаних робіт [31].

Після завершення ремонту обов'язковим є вихідний контроль, який має підтвердити відновлення функціональних характеристик транспортного засобу. Він може включати контрольний запуск двигуна, перевірку систем сканером, стендові випробування, перевірку гальм, світлотехніки, токсичності, регулювання кутів встановлення коліс, а за потреби — дорожнє випробування. У ширшому контексті вимоги до технічної справності транспортних засобів узгоджуються з європейськими підходами до roadworthiness, де періодичні технічні перевірки розглядаються як елемент системи забезпечення безпечного й екологічно прийнятного стану транспортних засобів в експлуатації [32].

Ще одним важливим напрямом є документування якості ремонтних робіт. Методично це передбачає оформлення заявки, результатів діагностики, переліку дефектів, погодженого обсягу робіт, використаних матеріалів і запасних частин, протоколів контрольних перевірок та акта приймання-передачі. Належне документування забезпечує простежуваність ремонту, спрощує гарантійний супровід і створює основу для аналізу повторних відмов. Крім того, якість сервісу в автомобільній галузі пов'язана не лише з технічним результатом, а і з надійністю, своєчасністю, комунікацією з клієнтом та прозорістю обслуговування, що підтверджується дослідженнями з оцінювання якості автосервісних послуг [2, 33-35].

Отже, методичні підходи до виконання та контролю якості ремонтних робіт транспортних засобів повинні базуватися на поєднанні нормативного регулювання, процесного менеджменту якості, діагностично-орієнтованого планування, ризик-аналізу, багаторівневого технічного контролю та повного документування результатів. Саме така система дає змогу підви-

щити безпеку експлуатації транспортних засобів, знизити ймовірність повторних відмов і забезпечити стабільну якість ремонтних послуг.

**Список використаних джерел**

1. Міністерство транспорту України. Про затвердження Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту: наказ від 30.03.1998 № 102. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 28.04.1998 за № 268/2708. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98
2. Міністерство інфраструктури України. Про затвердження Правил надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів : наказ від 28.11.2014 № 615. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17.12.2014 за № 1609/26386. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1609-14
3. Бурдун В.В., Рожкова А.Ю., Бикадорова Н.О., Ревякіна О.О. Деякі підходи щодо проведення та оцінювання якості ремонтних робіт автомобілів. «Актуальні питання експертної та оціночної діяльності»: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Полтава, 26–27 вересня 2024 року). Харків: Вид-во Іванченка І. С., 2024. С. 96 – 101.
4. ISO 9001:2015. Quality management systems — Requirements. 5th ed. Geneva: International Organization for Standardization, 2015. URL: https://www.iso.org/standard/62085.html
5. IATF 16949:2016. Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations. Geneva: International Automotive Task Force, 2016. URL: https://www.aiag.org/expertise-areas/quality/iatf-16949-2016
6. International Automotive Task Force (IATF). IATF Global Oversight. URL: https://www.iatfglobaloversight.org/
7. Бикадорова Н., Ревякіна О. Наведення деяких особливостей проведення ремонтних робіт в 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. 299–303.
8. 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.
9. Колесніков В. О. Дослідження зносотривкості перспективних сталей для автомобільної галузі, а також розпізнавання та ідентифікація їх продуктів зношування // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 79 - 89.
10. Ревякіна О.О., Бурдун В.В., Бикадорова Н.О. Комплексний підхід до аналізу експлуатаційної поведінки матеріалів транспортних засобів. Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «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. С. 308–313.
11. Бурдун В. В., Бикадорова Н. О., Ревякіна О. О. Деякі нові технології підготовки та навчання бакалаврів в галузі автомобільного транспорту // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15–17 квітня 2025 року: зб. наук. пр. [Електронний ресурс] /. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 91–95.
12. 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.
13. Ревякіна О. Бикадорова Н. Врахування деяких особливостей стану матеріалів під час тривалої експлуатації (на прикладі автомобільних деталей) // 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. 351–356.

14. Alexander Balitskii, Hawrilyuk M., Eliasz J., Balitska W, Kolesnikow W. Efektywnosc olejow roslinnych jako cieczy smarujaco-chlodzacych w obrobce skrawaniem stali wirnikowych // Obrobka skrawaniem – 9. - Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Edwarda Miko // IX Szkola Obrobki Skrawaniem, Sandomierz Kielce, 2015. – S. 168-176.

15. Kolesnikov V. Research of influence of lubricants on working and operating properties of corrosion-steel steels. // XV International Conference “Problems of Corrosion and Corrosion Protection of Materials“ (Corrosion-2020). October 15-16, 2020, Lviv, Ukraine: Book of Abstract / Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of Ukraine; S. Korniy, M.-O. Danyliak, Yu. Maksishko (Eds.). – Lviv, 2020. – P. 114.

16. Бикадорова Н.О., Колесніков В.О., Бурдун В.В., Балицька В.О. Застосування комп’ютерного моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. конф., 23–25 жовт. 2023 р., м. Вінниця. Вінниця, 2023. С. 60–62.

17. Бикадорова Н. О., Клюй О. І., Ткаченко В. О. Стислий огляд деяких інновацій в автомобільній галузі // 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. 48–52.

18. Літвіненко Сергій. (Бикадорова Наталія Олексіївна – наук. кер.). Розвиток автомобільної індустрії до початку XX століття. Європейський внесок: Франція: Panhard et Levassor, Peugeot. Великобрітанія: Rolls-Royce (перші моделі) // Науковий пошук молодих дослідників: Збірник наукових праць здобувачів вищої освіти, № 1 (2025). м. Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка»: Полтава, 2025. С. 146–153.

19. 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.

20. Колесніков В.О., Глюзицький О.О. Застосування можливостей нових технологій та прикладного матеріалознавства для впровадження автомобільних матеріалів // Материали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 49-57.

21. Стадник О. І., Бувалець М. Ю., Шматко О. Е., Колесніков В. О. Методи та засоби підвищення корозійної стійкості деталей автомобілів // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 190 - 197.

22. Кравцов О.В., Колесніков В.О. Сучасні стан і тенденція розвитку автомобільного транспорту // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції "Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів Європи та СНД" 26 травня. 2014 р. - С. 92 -100.

23. Єльбакієв Д.Г., Калашник А.С., Колесніков В.О. Враховування деяких аспектів при проведенні ремонтних робіт з відновлення геометрії кузова автомобіля. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: IX-та міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 83–87.

24. Бовет Денис (Колесніков Валерій Олександрович – наук. кер.). Технологія проведення профілактично-ремонтних робіт в автомобілях марки Toyota. // Науковий пошук молодих дослідників: Збірник наукових праць здобувачів вищої освіти, № 1 (2026). м. Лубни: Вид-во ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»: Лубни, 2026. С. 98–107.

25. Зиков Сергій (Колесніков Валерій Олександрович – наук. кер.). Приклад з заміни ламп підсвітки карти для автомобілів марки Kia Optima (2016–2020). // Науковий пошук молодих дослідників: Збірник наукових праць здобувачів вищої освіти, № 1 (2026). м. Лубни: Вид-во

ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»: Лубни, 2026. С. 113–128.

26. 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 міжнар. наук.-практ. конф., 13–14 квіт. 2023 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 38–42.

27. Titu, A.M.; Grecu, D.; Pop, A.B.; Șugar, I.R. Service Process Modeling in Practice: A Case Study in an Automotive Repair Service Provider. Appl. Sci. 2025, 15, 4171. https://doi.org/10.3390/app15084171

28. Hilger, J. E.; Ford, E. J.; Flaherty, M. M. Diagnostic Challenges in the Automotive Workshop. SAE Technical Paper 2004-21-0011. In: Convergence International Congress & Exposition on Transportation Electronics, 2004. URL: https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2004-21-0011

29. Ervural, B.; Ayaz, H. I. A fully data-driven FMEA framework for risk assessment on manufacturing processes using a hybrid approach. Engineering Failure Analysis. 2023. Vol. 152. Article 107525. URL: https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107525

30. Cirtina, L.-M.; Dumitrascu, A.-E.; Cazacu, D.V.; Ianasi, C.A.; Rădulescu, C.; Tătar, A.M.; Pasăre, M.M.; Nioață, A.; Cirtina, D. Eight-Disciplines Analysis Method and Quality Planning for Optimizing Problem-Solving in the Automotive Sector: A Case Study. Processes 2025, 13, 3121. https://doi.org/10.3390/pr13103121

31. Titu, A.M.; Pop, A.B. Integrated Quality Management for Automotive Services—Addressing Gaps with European and Japanese Principles. Sustainability 2025, 17, 9100. https://doi.org/10.3390/su17209100

32. Directive 2014/45/EU of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 on periodic roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers and repealing Directive 2009/40/EC (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. 2014. L 127. P. 51–128. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02014L0045-20220927

33. Balinado, J. R.; Prasetyo, Y. T.; Young, M. N.; Persada, S. F.; Miraja, B. A.; Redi, A. A. N. P. The effect of service quality on customer satisfaction in an automotive after-sales service. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2021. Vol. 7, Issue 2. Article 116. DOI: https://doi.org/10.3390/joitmc7020116

34. James AT, James J (2021), "Service quality evaluation of automobile garages using a structural approach". International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 38 No. 2 pp. 602–627, doi: https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2020-0066

35. Velimirovic, D.; Duboka, C.; Velimirovic, M. Quality of service management in automotive service stations. FME Transactions. 2022. Vol. 50, No. 1. P. 131–138. URL: https://www.mas.bg.ac.rs/media/istrazivanje/fme/vol50/1/14_d_velimirovic_et_al.pdf

***Бикадорова Наталія Олексіївна*** – ст. викладач каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: itottstar@gmail.com).

***Бурдун Віктор Васильович*** – кандидат пед. наук, доцент, зав. каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: burdun_v_v@ukr.net).

***Рожкова Анастасія Юріївна*** – викладач каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: cracks2010@ukr.net).

***Ревякіна Ольга Олександрівна*** – к.т.н., доцент, каф. технологій виробництва і готельно-ресторанної справи, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка. (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail:

olga.0509239777@gmail.com).

***Бовет Денис Олександрович*** – здобувач вищої освіти 4 курсу першого (бакалаврського) рівня спеціальності «Професійна освіта. Транспорт» кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультету технологій та інформаційних систем ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна).

***Зиков Сергій Андрійович*** – здобувач вищої освіти 4 курсу першого (бакалаврського) рівня спеціальності «Професійна освіта. Транспорт» кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультету технологій та інформаційних систем ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна).

***Bykadorova Natalia*** - Senior Lecturer, Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University. (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: itottstar@gmail.com)

***Burdun Viktor*** – Candidate of Pedagogical Sciences (PhD in Education), Associate Professor, Head of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technology and Information Systems, Taras Shevchenko National University of Luhansk (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: (burdun_v_v@ukr.net)

***Rozhkova Anastasiia*** – Lecturer, Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University. (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: cracks2010@ukr.net).

***Reviakina Olga*** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Production Technologies and Hotel and Restaurant Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: olga.0509239777@gmail.com).

***Bovet Denis*** – a 4th-year student of the first (Bachelor's) level of higher education in the specialty "Professional Education. Transport", Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Taras Shevchenko Luhansk National University (2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava region, Ukraine).

***Zikov Sergey*** – a 4th-year student of the first (Bachelor's) level of higher education in the specialty "Professional Education. Transport", Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Taras Shevchenko Luhansk National University (2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava region, Ukraine).

УДК 621.43.016

**Бица Р.О.**

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФІНІШНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ФОРМУВАННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА

*У роботі здійснено порівняння операцій хонінгування та формування регулярного мікрорельєфу, як фініншних операцій технологічного процесу обробки гільз циліндрів ДВЗ. Показано, що запропонована технологія забезпечує регулярну топографію поверхні та використовує канавки змінної глибини, що покращує розподіл мастила і умови тертя. Додатково досягається зміцнення поверхневого шару та підвищення зносостійкості, що підтверджує перспективність методу для двигунобудування.*

***Ключові слова:*** *гільзи двигунів, ДВЗ, регулярний мікрорельєф, хонінгування.*

*The paper presents a comparative analysis of honing and the formation of a regular microrelief as finishing operations in the technological process of machining cylinder liners for internal combustion engines. It is shown that the proposed technology provides a regular surface topography and employs grooves of variable depth, which improves lubricant distribution and friction conditions. In addition, surface layer strengthening and enhanced wear resistance are achieved, confirming the potential of the method for engine manufacturing.*

***Key words:*** *cylinder liners, internal combustion engines (ICE), regular microrelief, honing*

У сучасному автомобілебудуванні питання забезпечення надійності, паливної економічності та екологічності двигунів внутрішнього згоряння безпосередньо пов'язане зі станом поверхонь тертя циліндро-поршневої групи. В умовах посилення екологічних норм, зниження викидів $CO_2$ , зменшення механічних втрат та підвищення ресурсу двигунів особливого значення набуває оптимізація трибологічних характеристик контакту «поршневе кільце – гільза циліндра». Відомо, що до 40–50 % механічних втрат у двигуні припадає саме на цю пару тертя, що обумовлює необхідність удосконалення технологій формування поверхневого шару гільз.

Традиційно як фінішна операція обробки гільз циліндрів застосовується хонінгування, яке забезпечує формування характерної перехресної сітки мікронерівностей. Така структура сприяє утриманню мастильного матеріалу, забезпечує задовільні умови припрацювання та є технологічно відпрацьованою у масовому виробництві. Проте, незважаючи на широке застосування, хонінгування має принципове обмеження: сформований мікрорельєф має стохастичний характер. Геометричні параметри канавок – їх глибина, ширина, форма та взаємне розташування – не є суворо детермінованими навіть за стабільних режимів обробки. Унаслідок цього функціональні властивості поверхні, зокрема маслоємність, опорна площа та локальний розподіл контактних напружень, мають статистичний характер і не можуть бути точно спрогнозовані на етапі проєктування.

В умовах сучасного двигунобудування, де відбувається перехід до концепції функціонально-орієнтованих поверхонь, така невизначеність стає суттєвим обмеженням. Зменшення в'язкості моторних олив, підвищення питомих навантажень, застосування турбонаддуву та зниження маси конструкцій вимагають більш точного керування трибологічними процесами. Це обумовлює актуальність розроблення альтернативних фінішних технологій, здатних забезпечити детерміноване формування мікротопографії поверхні. Одним із перспективних напрямів є формування регулярного мікрорельєфу методом поверхневого пластичного деформування. На відміну від абразивного хонінгування, цей метод базується на контрольованому пластичному перерозподілі матеріалу поверхневого шару, що дозволяє формувати геометрично впорядковану структуру з наперед заданими параметрами. Такий підхід забезпечує принципово інший рівень керованості: крок мікрорельєфу, ширина та глибина канавок, їх форма, а також співвідношення площі заглиблень і опорної поверхні можуть бути визначені

аналітично ще на етапі проєктування. Особливістю запропонованого мікрорельєфу є використання канавок змінної глибини [1], що відрізняє його від традиційних регулярних текстур, у яких застосовуються заглиблення сталої геометрії. У класичних рішеннях канавки однакової глибини формують однорідне поле маслоємності, що обмежує можливості керування процесами мастилоутворення. У запропонованому підході змінна глибина канавок дозволяє реалізувати функціональну диференціацію поверхні: глибші ділянки виконують роль локальних резервуарів мастильного матеріалу, тоді як менш глибокі зони забезпечують формування опорної поверхні та плавний перехід навантаження в зоні контакту. Така геометрія створює передумови для більш ефективного розподілу мастила, зменшення локальних пікових напружень і стабілізації умов тертя.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця фінішних технологічних операцій – хонінгування та формування регулярних мікрорельєфів

| Критерій | Хонінгування | Регулярний мікрорельєф (ППД) |
|---|---|---|
| Характер мікрорельєфу | Стохастичний, квазі-регулярний | Детермінований, геометрично впорядкований |
| Керованість геометрії | Обмежена, параметри мають розкид | Висока, параметри задаються аналітично |
| Глибина канавок | Переважно випадкова або умовно однакова | Змінна, функціонально диференційована |
| Маслоємність | Забезпечується, але нерівномірно | Керована, можливість локального регулювання |
| Опорна площа | Формується статистично | Може бути точно задана |
| Розподіл мастила | Нерегулярний, залежить від структури канавок | Спрямований і керований |
| Умови тертя | Задовільні, потребують припрацювання | Потенційно покращені, стабільніші |
| Початкове зношування | Підвищене через піки шорсткості | Знижене завдяки згладженню та зміцненню |
| Зносостійкість | Стандартна | Підвищена за рахунок ППД |
| Стан поверхневого шару | Можливі мікродефекти після абразивної дії | Ущільнений, зміцнений, залишкові напруження стиску |
| Наявність гострих вершин | Присутні після обробки | Мінімізовані |
| Період припрацювання | Обов’язковий, відносно тривалий | Скорочений |
| Технологічна зрілість | Дуже висока, масове виробництво | Перспективна, потребує адаптації |
| Складність впровадження | Низька (стандартна технологія) | Середня–висока (нова технологія) |
| Вартість впровадження | Низька/оптимізована | Вища на початковому етапі |
| Гнучкість налаштування | Обмежена | Висока |
| Можливість функціонального зонування | Практично відсутня | Реалізується (зміна параметрів по довжині) |
| Екологічний ефект (через зниження тертя) | Обмежений | Потенційно вищий |
| Застосування в ДВЗ | Стандарт галузі | Перспективна альтернатива/доповнення |

З урахуванням специфіки роботи гільзи циліндра, де спостерігається істотна неоднорідність режимів змащування вздовж ходу поршня, застосування мікрорельєфу зі змінною глибиною канавок відкриває можливість адаптації поверхні до змінних умов експлуатації. У зоні верхньої мертвої точки, де переважає граничне тертя, більш глибокі ділянки здатні утримувати мастило і знижувати ризик сухого контакту. У середній частині ходу, де формується гідродинамічна складова мастильної плівки, мілкіші ділянки забезпечують достатню опорну площу та стабільність контакту. Таким чином, поверхня набуває властивостей функціонально градієнтної системи, що є важливим кроком у напрямі підвищення ефективності роботи двигуна.

Додатковою перевагою методу поверхневого пластичного деформування є покращення фізико-механічних характеристик поверхневого шару. У процесі деформування відбувається його ущільнення, підвищення мікротвердості та формування залишкових напружень стиску, що позитивно впливає на зносостійкість і втомну міцність. На відміну від цього, хонінгування як абразивний процес може супроводжуватись утворенням мікродефектів та не забезпечує зміцнення матеріалу. У результаті запропонована технологія поєднує формування функціонального мікрорельєфу з одночасною модифікацією структури поверхневого шару, що є важливою перевагою з точки зору довговічності вузла.

Слід також відзначити, що формування регулярного мікрорельєфу методом ППД потенційно дозволяє зменшити інтенсивність початкового зношування та скоротити період припрацювання двигуна. Це особливо актуально для сучасних автомобільних двигунів, де зниження втрат на тертя в початковий період експлуатації є одним із факторів покращення паливної економічності та екологічних показників. Отже, проведений аналіз показує, що в умовах сучасного розвитку автомобілебудування класичне хонінгування, незважаючи на свою технологічну відпрацьованість, поступається за рівнем функціональної керованості новим методам формування поверхні. Запропонований регулярний мікрорельєф, сформований методом поверхневого пластичного деформування, забезпечує детерміновану мікротопографію та підвищені фізико-механічні властивості поверхневого шару. Ключовою відмінністю є використання канавок змінної глибини, що дозволяє реалізувати більш складний і ефективний механізм взаємодії поверхні з мастильним середовищем.

Для підвищення ефективності, ресурсу та екологічності двигунів внутрішнього згоряння така технологія має значний потенціал для впровадження як альтернатива або доповнення до традиційного хонінгування. Її подальший розвиток повинен бути спрямований на оптимізацію геометричних параметрів мікрорельєфу з урахуванням реальних умов роботи циліндро-поршневої групи та експериментальне підтвердження досягнутих трибологічних переваг.

Переваги цієї операції в якості фінішної операції технлогічного процесу обробки гільзи ДВЗ, що формує її експлуатаційні властивості подано у таблиці 1.

**Список використаних джерел**

1. Спосіб формування регулярних мікрорельєфів об'ємного класу : пат. 158484 Україна : B23P 9/00. Дзюра В.О., Бица Р.О. заявл. 22.07.2024. опубл. 12.02.2025, Бюл.№ 7.

***Бица Роман Олегович*** – канд. техн. наук, доцент кафедри агробіотехнологій Західноукраїнського національного університету (46009, м. Тернопіль, вул. Львівська, 11, e-mail: romanbytsa@gmail.com)

***Roman Bytsa*** – PhD (Eng.), Associate Professor of the Department of of Agrobiotechnologies of the Western Ukrainian National University, Ternopil, e-mail: romanbytsa@gmail.com

УДК 656.113

**Біліченко В.В., Цимбал О.В.**

# СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

***Анотація.*** *У статті розглянуто питання ефективного функціонування міського пасажирського транспорту та підходи до визначення раціональної кількості і пасажиромісткості рухомого складу на маршрутах. Проаналізовано існуючі методи розрахунку потреби в транспортних засобах та їхні обмеження в умовах сучасних міських перевезень. Обґрунтовано необхідність удосконалення методичних підходів з урахуванням нерівномірності пасажиропотоків та вимог до якості транспортного обслуговування. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності роботи міських транспортних систем.*

***Abstract.*** *The paper considers the issues of efficient functioning of urban passenger transport and approaches to determining the optimal number and passenger capacity of vehicles on routes. Existing methods for calculating vehicle requirements and their limitations under modern urban transport conditions are analyzed. The necessity of improving methodological approaches is substantiated, taking into account passenger flow variability and service quality requirements. The obtained results can be used to enhance the efficiency of urban transport systems.*

**Вступ**. Ефективне функціонування міського пасажирського транспорту є важливою умовою забезпечення мобільності населення та сталого розвитку міст. В умовах зростання попиту на перевезення особливої актуальності набуває задача визначення раціональної кількості та пасажиромісткості рухомого складу на маршрутах. Недосконаліть існуючих підходів і необхідність урахування численних факторів обумовлюють потребу у вдосконаленні методів планування транспортного обслуговування населення.

**Основна частина.** Досвід окремих міст і країн, у яких сформовано ефективні школи транспортного планування, свідчить, що ключовим напрямом транспортної політики є створення інтегрованих транспортних систем, які забезпечують узгоджене та ефективне функціонування всіх видів міського пасажирського транспорту. Вчені та практики у сфері транспортного планування в економічно розвинених країнах дійшли висновку, що лише комплексне функціонування всіх складових виробничої системи пасажирських перевезень здатне суттєво підвищити ефективність роботи транспорту загального користування.

На сучасному етапі розвитку міського пасажирського транспорту в містах України постає необхідність вирішення низки актуальних проблем, зокрема: розроблення методів формування парку рухомого складу, визначення його кількості та пасажиромісткості на маршрутах, удосконалення тарифної політики, впровадження узгодженого розкладу руху транспортних засобів тощо.

Удосконалення функціонування системи міських пасажирських перевезень має забезпечувати мінімізацію часу поїздки пасажирів, регулярність руху транспорту, раціональне використання рухомого складу та високий рівень обслуговування при мінімальних витратах.

Управління кількістю та пасажиромісткістю рухомого складу на маршруті є важливим завданням, що впливає як на якість транспортного обслуговування, так і на економічну ефективність діяльності перевізників. Зазначені фактори мають суперечливий характер: підвищення якості обслуговування, як правило, супроводжується зниженням ефективності використання транспортних засобів. Завдання органів місцевого самоврядування полягає у забезпеченні такого співвідношення параметрів функціонування транспорту, яке дозволяє досягти балансу інтересів перевізників, пасажирів і територіальної громади.

Існуючі методи визначення пасажиромісткості автобусів на маршрутах умовно можна звести до трьох основних груп:

– за величиною пасажиропотоку в одному напрямку в годину «пік», пас.год.;

– за добовою величиною пасажиропотоку, тис.пас/добу;

– за мінімумом цільової функції у вигляді суми витрат, які виникають в ході перевезення, і витрат пасажирами часу на очікування ТЗ на зупинках.

Методи визначення кількості транспортних засобів – до п'яти основних груп:

– за обсягом перевезень пасажирів та продуктивністю автобуса;

– за часом оборотного рейсу та інтервалом руху;

– за пасажиропотоком на найбільш завантаженій ділянці в годину «пік»;

– за собівартістю 10 пас. км перевезення;

– за цільовою функцією у вигляді суми витрат на перевезення та втрат пасажирів на очікування.

Аналіз відомих методик розрахунку потреби в рухомому складі показує, що їх сутність полягає у визначенні попиту на перевезення (на основі обстежень пасажиропотоків), виборі доцільних видів транспорту (метро, трамвай, тролейбус, автобус) та подальшому узгодженні обсягів перевезень із наявними ресурсами [1, 2, 4]. Розрахунок здійснюється за критеріями відповідності попиту пропозиції пасажирських місць та забезпечення заданих інтервалів руху.

Узагальнення існуючих підходів дозволяє сформулювати такі положення. Чим рівномірнішим є пасажиропотік уздовж маршруту, тим меншою кількістю рухомого складу можна забезпечити перевезення при вищій якості обслуговування. Визначення параметрів рухомого складу має базуватися на даних натурних обстежень і бути пов'язаним із коригуванням маршрутної мережі та регулюванням попиту в часі.

Маршрути з обмеженими можливостями обгону доцільно обслуговувати транспортними засобами з подібними динамічними характеристиками, що сприяє підвищенню швидкості та регулярності руху. Інтервали руху повинні встановлюватися в допустимих межах: верхня межа визначається витратами часу пасажирів на очікування, а нижня – пропускною здатністю мережі та умовами безпеки руху. Регулювання інтервалів досягається шляхом зміни кількості та місткості рухомого складу.

Водночас аналіз показує, що існуючі методи не повною мірою враховують специфіку окремих маршрутів і вплив великої кількості факторів. У сучасних умовах для більшості міст України відсутні універсальні підходи, які дозволяють обґрунтовано визначати необхідну кількість і пасажиромісткість транспортних засобів.

Таким чином, незважаючи на значну кількість досліджень, актуальною залишається задача вибору параметрів рухомого складу на міських маршрутах, що забезпечують підвищення якості транспортних послуг.

**Список літературних джерел**

1. Аулін В. В., Голуб Д. В. Теоретичне обґрунтування прогнозування розподілу попиту пасажирів на послуги різних типів міського транспорту // *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* – 2014. – № 2(69). – С. 16–20

2. Гудима Р.Р. Проблемні аспекти розвитку транспортної інфраструктури України / Гудима Р.Р. // Проблеми і перспективи розвитку національної економіки в умовах євроінтеграції та світової фінансово-економічної кризи. Чернівці / МФУ, БДФА та ін. гол. ред. В.В.Прядко – Чернівці, 2009. – с.238 – 239.

3. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами» – Харків: ХНАДУ, 2020. – 300 с.

4. Оптимізація транспортної логістики за часів воєнного положення / [Електронний ресурс] // 2022 р. – Режим доступу: https://trademaster.ua/articles/313535.

***Біліченко Віктор Вікторович*** **–** д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, ректор Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

***Цимбал Ольга Василівна*** **–** асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету Вінниця, e-mail: unicorne@ukr.net;

***Bilichenko Viktor V.*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Rector of Vinnytsia National Technical University, bilichenko.v@gmail.com

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

УДК 656.13

**Бойків Р.В., Євчук М.Ю., Бойків М.В.**

# ОЦІНКА КОНФЛІКТНОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ КІЛЬЦЕВОЇ ДОРОГИ М. ЛЬВОВА

*У роботі розглянуто особливості організації руху на перехрестях ділянки міжнародної автомобільної дороги М-06 у межах кільцевої дороги м. Львова. Встановлено, що основними чинниками підвищеної аварійності є перевантаження підходів до перехресть та відсутність окремих смуг для поворотних маневрів*

***Ключові слова:*** *автомобільна дорога, транспортий потік, маневри руху, безпека руху, конфліктна точка, схема руху.*

*This paper examines the characteristics of traffic management at intersections along a section of the M-06 international highway within the Lviv ring road. It has been established that the main factors contributing to the high accident rate are congestion on the approaches to intersections and the lack of dedicated lanes for turning maneuvers.*

***Key words:*** *road, traffic flow, traffic maneuvers, traffic safety, conflict point, traffic pattern.*

В умовах воєнного стану в Україні спостерігаються суттєві трансформації просторового розподілу населення та промислових об’єктів, що супроводжуються інтенсивними міграційними процесами та зміною напрямків вантажних і пасажирських перевезень. Це призводить до істотного перерозподілу транспортних потоків у межах вулично-дорожньої мережі та на міжнародних автомобільних дорогах, що, у свою чергу, створює додаткове навантаження на транспортну інфраструктуру [1].

Зазначені зміни не лише порушують сформовані транспортні зв’язки, але й суттєво впливають на рівень мобільності населення та безпеки дорожнього руху, особливо у вузлових елементах мережі - перехрестях, транспортних розв’язках та підходах до них. Зростання інтенсивності руху, поєднане з неоднорідністю та нерівномірністю транспортних потоків, призводить до формування перевантажених ділянок, збільшення затримок та підвищення рівня конфліктності транспортного процесу.

Такі проблеми проявляються на ділянках міжнародних автомобільних доріг, зокрема на підходах до вузлів та перехресть із різною схемою організації руху, де відсутність узгодженого регулювання та недостатня пропускна спроможність інфраструктури призводять до дестабілізації транспортного процесу. У цьому контексті дослідження руху транспортних потоків є необхідною передумовою для обґрунтування ефективних заходів підвищення безпеки руху, оптимізації режимів регулювання та покращення експлуатаційних характеристик транспортної мережі.

На міжнародній автомобільній дорозі М-06 “Київ – Чоп” спостерігається підвищений рівень аварійності, зокрема на ділянках, що проходять через Львівську область, щорічно фіксуються тисячі дорожньо-транспортних пригод (ДТП), значна частина яких пов’язана з перевищенням швидкості та порушенням правил маневрування. За даними Головного управління Національної поліції у Львівській області, у 2024 та 2025 роках на території області зафіксовано понад 2000 ДТП.

За результатами раніше проведених досліджень [2], встановлено, що аварійність на ділянці автомобільної дорогим М-06 має виражений кластерний характер та залежить від інтенсивності транспортного потоку і просторових характеристик дороги. Найбільш небезпечними є зони примикання та ділянки зміни напрямків руху, де спостерігається концентрація ДТП. Отримані результати підтверджують доцільність використання комплексного підходу до аналізу аварійності з урахуванням часових та просторових факторів.

У роботі [3] аналіз умов руху на ділянці автодороги М-06 вказує, що визначальними

чинниками підвищення рівня небезпеки є значна кількість маневрів, нерівномірність розподілу потоків за напрямками, а також висока частка транзитного руху.

В таких умовах особливої актуальності набуває аналіз вулично-дорожньої менрежі та наявних дозволених манерврів на головній та примикаючих дорогах. Дані про параметри перехрестя та транспортний потік є базовими для проєктування, оцінки ефективності функціонування транспортних систем та визначення пріоритетних напрямків розвитку транспортної інфраструктури, тому вони повинні характеризуватися високою точністю та достовірністю. З огляду на це, проведено аналіз ділянки кільцевої дороги м. Львова від населеного пункту Пасіки-Зубрицькі до перехерстя з дрогою Н17. До уваги брались всі облаштовані перехрестя або примикання, встановлювались дозволені напрмяки руху та існуючі планувальні особливості перехерсть. Існуюча схема руху транспортних потоків на кожному перехерсті графічно наведена на рис. 1.

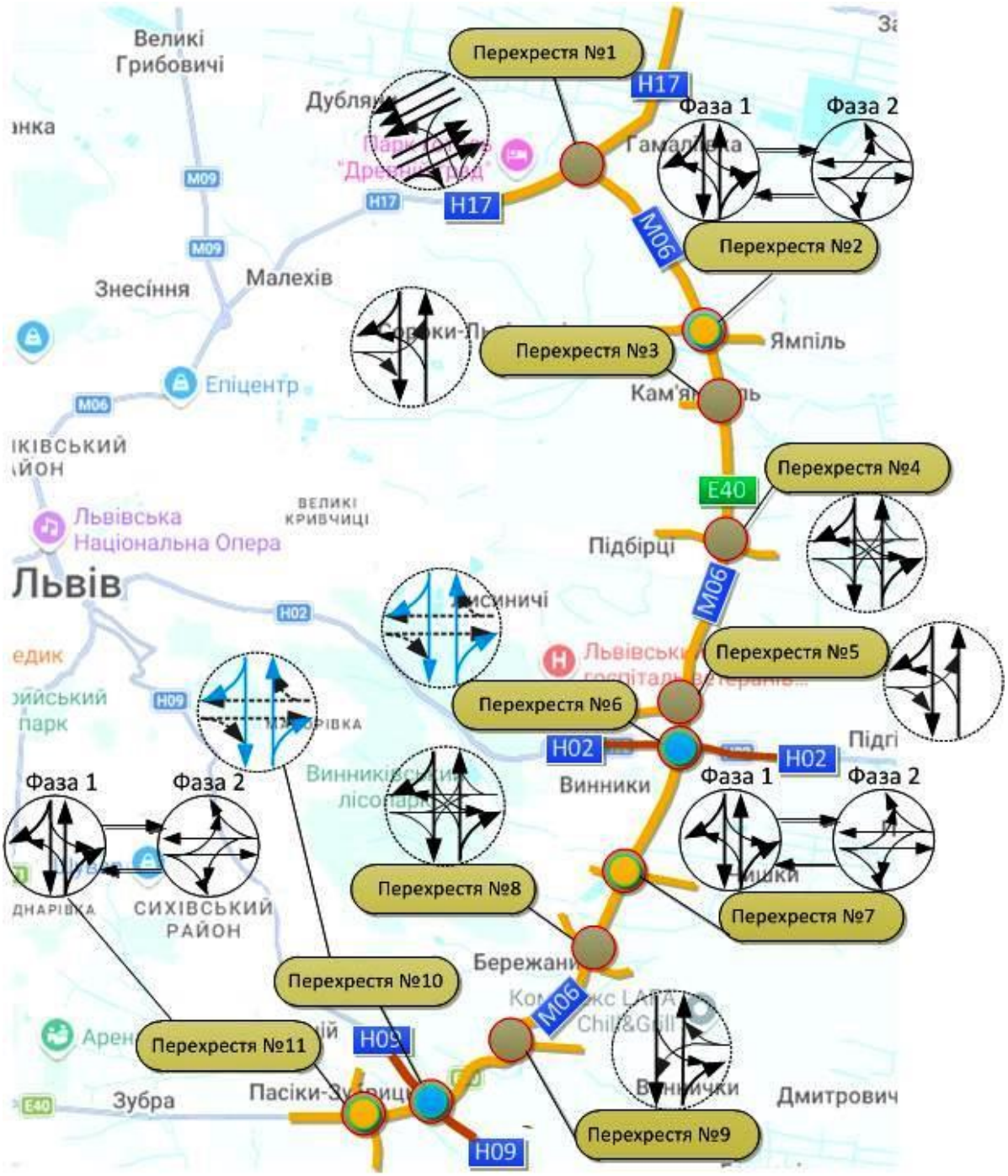



Рисунок 1 – Схема руху транспортних потоків ділянкою кальцевої дороги м. Львів

Ділянка міжнародної автомобільної дороги М-06 в районі проходження кільцевої дороги міста Львова є характерним прикладом приміської зони з інтенсивним змішаним транспортним потоком. Довжина ділянки складає 18 км. На такій довжині дороги налічується 11 перехресть з ріним типом і видом регулювання.

У процесі аналізу роботи перехресть на діялнці автомобільної дороги М-06, одним із базових етапів була ідентифікація та систематизований опис напрямків руху транспортних засобів на кожному підході. Кожен підхід до перехрестя характеризувався індивідуальними умовами, які впливають на організацію руху та формують потенційні джерела підвищеної аварійної небезпеки.

Таблиця 1 – Особливості рху на ділянці кільцевої дороги м. Львів

| Перехрестя | Тип перехестя | Вид регулювання | Кількість смуг руху на головній дорозі | Особливість організації руху | Середня інтенсивність руху на перехресті авто/год |
|---|---|---|---|---|---|
| №1 | Т-подібне | нерегульоване | 3 | велика кількість конфліктних точок, особливо під час лівих поворотів, нерівномірність потоків за напрямками | 3200 |
| №2 | Х-подібне | регульоване | 1 | формування черг на другорядних підходах, нерівномірність потоків за напрямками | 2950 |
| №3 | Т-подібне | нерегульоване | 1 | відсутні виділені смуги для поворотів, велика кількість конфліктних точок | 2500 |
| №4 | Х-подібне | нерегульоване | 1 | велика кількість конфліктних точок, формування черг на другорядних підходах | 2800 |
| №5 | Т-подібне | нерегульоване | 1 | відсутні виділені смуги для поворотів, велика кількість конфліктних точок | 2400 |
| №6 | Х-подібне | розв’язка у 2-х рівнях | 1 | наявність конфліктів під час злиття потоків | 3000 |
| №7 | Х-подібне | регульоване | 1 | велика кількість конфліктних точок, значні затримки руху | 2700 |
| №8 | Х-подібне | нерегульоване | 1 | велика кількість конфліктних точок | 2700 |
| №9 | Т-подібне | нерегульоване | 2 | велика кількість конфліктних точок, особливо під час лівих поворотах, | 2650 |
| №10 | Х-подібне | розв’язка у 2-х рівнях | 1 | наявність конфліктів під час злиття потоків | 3000 |
| №11 | Х-подібне | регульоване | 1 | відсутні виділені смуги для поворотів, значні затримки руху, велика кількість конфліктних точок | 2900 |

Дослідження інтенсивності та дозволених напрямків руху на перехрестях є важливою складовою оцінки рівня безпеки руху на ділянці автомобільної дороги. Саме параметри

потоків визначають характер взаємодії транспортних засобів, кількість конфліктних ситуацій та загальний рівень аварійності. Для досліджуваної ділянки було проведено окремі заміри інтенсивності руху транспортного потоку, дослідження схеми і кількості смуг руху та особливлсті роботи перехерсть (табл. 1). Це дозволило отримати об'єктивну картину добових коливань транспортних потоків, характерну для приміської зони з активним зв'язком із містом Львів.

У межах даної ділянки кільцевої дороги м. Львова на ній спостерігається ряд регульованих і нерегульованих перехресть в одному рівні, а також дві розвязки у двох рівнях, які функціонують як міжнародний транспортний коридор із високою інтенсивністю руху транзитного транспорту. За результатами натурних досліджень на перехрестях досліджуваної ділянки автодороги М-06 встановлено, що середня інтенсивність руху транспортних потоків у різні періоди коливається від 2000 до 3000 авт./год.

Перехрестя досліджуваної ділянки дороги М-06 відрізняються конфігурацією, проте для більшості перехресть характерні значні недоліки організації руху, зокрема велика кількість конфліктних точок, особливо під час виконання лівоповоротних маневрів, відсутність виділених смуг для поворотів, формування черг на другорядних підходах та суттєві затримки руху. Додатково спостерігається нерівномірність транспортних потоків за напрямками та конфлікти під час злиття потоків, що у поєднанні з високою інтенсивністю руху формує підвищений рівень транспортної напруженості та потенційну аварійність на даній ділянці дороги.

Безпека дорожнього руху є критично важливою проблемою для ефективного функціонування транспортних систем у міжнародній транспортній мережі, яка впливає на всіх учасників транспортного процесу. В умовах зростання інтенсивності руху, транзитного характеру перевезень та ускладнення структури транспортних потоків особливої актуальності набуває дослідження їх нерівномірності.

Низький рівень безпеки дорожнього руху на досліджуваній ділянці міжнародної автомобільної дороги М-06 у межах кільцевої дороги м. Львова зумовлений нерівномірністю транспортних потоків, що проявляється у значних коливаннях інтенсивності руху між окремими перехрестями та підходами до них. Перевантаження смуг руху на найбільш завантажених ділянках призводить до зростання кількості конфліктних точок і затримок руху. Додатковим чинником, який понижує безпеку руху є недостатня пропускна спроможність підходів та відсутність або обмежена кількість окремо виділених смуг для виконання поворотних маневрів, що спричиняє перетин потоків різної структури та підвищує ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

У сукупності зазначені чинники формують високий рівень конфліктності транспортних потоків та свідчать про невідповідність існуючої організації руху сучасним вимогам забезпечення безпеки, що обґрунтовує необхідність впровадження комплексних заходів з оптимізації режимів регулювання та розподілу транспортних потоків.

**Список використаних джерел**

1. Сотнікова А. О. Особливості формування транспортних потоків в умовах війни: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії : 275 – транспортні технології (за видами) / Анна Олександрівна Сотнікова/ Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2024. – 194 с.

2. Матвійчук Т. Кількісні характеристики дорожньо-транспортних пригод на відрізку автодороги «Ямпіль М-06» // *Social Development and Security*. – 2026. – Т. 16, № 1. С. 264-288. DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.16.1.20

3. Бойків М. В, Євчук М. Ю. Оцінка небезпеки на перехресті зі всіма дозволеними маневрами руху на ділянці автодороги М-06 (532-533 КМ). (2025). *Комунальне господарство міст. Серія: «Інформаційні технології та інженерія»*, *6*(194), 412-419. DOI: 10.33042/3083-6727-2025-6-194-412-419.

***Бойків Роман Васильович*** – асистент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12, e-mail: roman.v.boikiv@lpnu.ua).

***Євчук Мирослав Юрійович*** – аспірант кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12, e-mail: myroslav.yu.yevchuk@lpnu.ua).

***Бойків Микоал Васильович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12, e-mail: mykola.v.boikiv@lpnu.ua).

***Roman Boikiv*** – Assistant of the Department of Transport Technologies Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, Stepan Bandera Street, 12, e-mail: roman.v.boikiv@lpnu.ua).

***Myroslav Yevchuk*** – PhD student of the Department of Transport Technologies at Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, Stepan Bandera St., 12. e-mail: myroslav.yu.yevchuk@lpnu.ua).

***Mykola Boikiv*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor in the Department of Transportation Technologies at Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, Stepan Bandera Street, 12, e-mail: mykola.v.boikiv@lpnu.ua)

УДК 629.3

**Бондаренко П.Я., Віщун І.В.**

# ВИМОГИ ДО АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ, ЯКА ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФЕЛЬД'ЄГЕРСЬКО-ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

*Дослідження ефективності використання колісної автомобільної техніки для забезпечення фельд'єгерсько-поштового зв'язку в умовах ведення бойових дій є дуже важливим елементом забезпечення сталого управління військами. Доставка бойових документів до органів управління військових частин та з'єднань є однією з важливих задач, які покладені на фельд'єгерсько-поштовий зв'язок.*

***Ключові слова:*** *автомобілі, бойові броньовані машини, бронеавтомобілі, бойові документи, маршрут руху.*

*Research into the effectiveness of using wheeled vehicles to provide courier and postal services in combat conditions is a very important element in ensuring sustainable troop management. Delivery of combat documents to the command bodies of military units and formations is one of the important tasks assigned to courier and postal services.*

***Keywords:*** *transport base, vehicle, replacement of combat positions, radar station.*
***Keywords:*** *cars, armored combat vehicles, armored cars, combat documents, route.*

Фельд'єгерсько-поштовий зв'язок – це спеціалізована система доставки службової, службово-таємної та секретної кореспонденції, яка використовується органами військового командування та іншими установами для забезпечення надійного, захищеного і своєчасного обміну документами. В окремих видах бойових дій та в умовах широкого використання противником засобів радіорозвідки, радіопридушення та радіоелектронної боротьби вона може бути чи не єдиним засобом надійного забезпечення обміну бойовими документами між органами та об'єктами управління.

Фельд'єгерсько-поштовий зв'язок (далі – ФПЗ) призначений для: доставки важливих бойових документів між органами та об'єктами військового командування; обміну секретною та конфіденційною інформацією; забезпечення зв'язку в умовах, коли звичайні канали (електронні чи поштові) є ненадійними або небезпечними.

Цей вид зв'язку має високу надійність і високий рівень безпеки, бо документи передаються під особисту відповідальність кур'єра (фельд'єгеря). Цей вид зв'язку має високий ступінь захисту, що досягається розміщенням документів у спеціальних пакетах із супровідними записками та опечатуванням. Перевагою цього виду зв'язку є оперативність доставки, бо вона здійснюється у визначені терміни, часто за пріоритетними маршрутами доставки (по колу або за напрямком). Найбільшою перевагою такого виду зв'язку перед іншими видами є його конфіденційність, яка забезпечується суворим дотриманням режиму секретності, обмеженням кола осіб, які мають доступ до відправлень, а також точним обліком усіх відправлень з фіксацією кожного етапу передачі (хто прийняв, хто передав).

Елементами ФПЗ є: спеціальні військові фельд'єгерські підрозділи, які займаються реєстрацією, зберіганням, сортуванням, охороною та доставкою бойових документів; маршрутами перевезення (автомобільні, залізничні, авіаційні); пунктами обміну – місця прийому / видачі кореспонденції; супровідної документації – журналами, накладними, актами прийому-передачі.

З метою організації ФПЗ у Збройних Силах України застосовують штатні підрозділи ФПЗ. ФПЗ організується та забезпечується силами і засобами штатних підрозділів ФПЗ за: напрямками, круговими маршрутами по-колу та за допомогою вісі ФПЗ. Схеми організації

такого виду зв’язку наведені нижче.

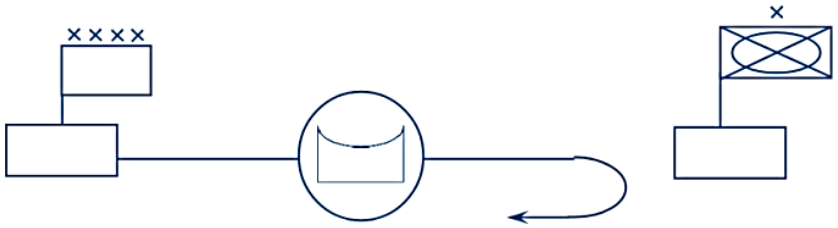


Рис. 1. Напрямок ФПЗ

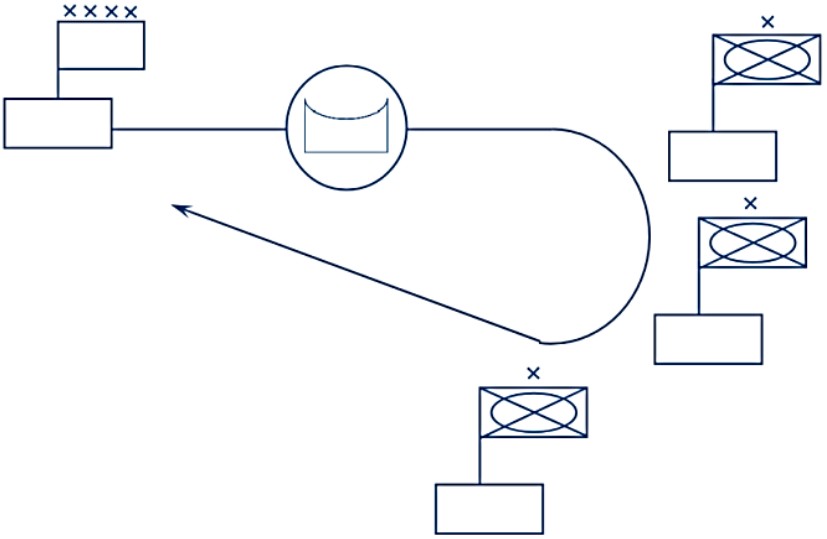


Рис. 2. Круговий маршрут ФПЗ

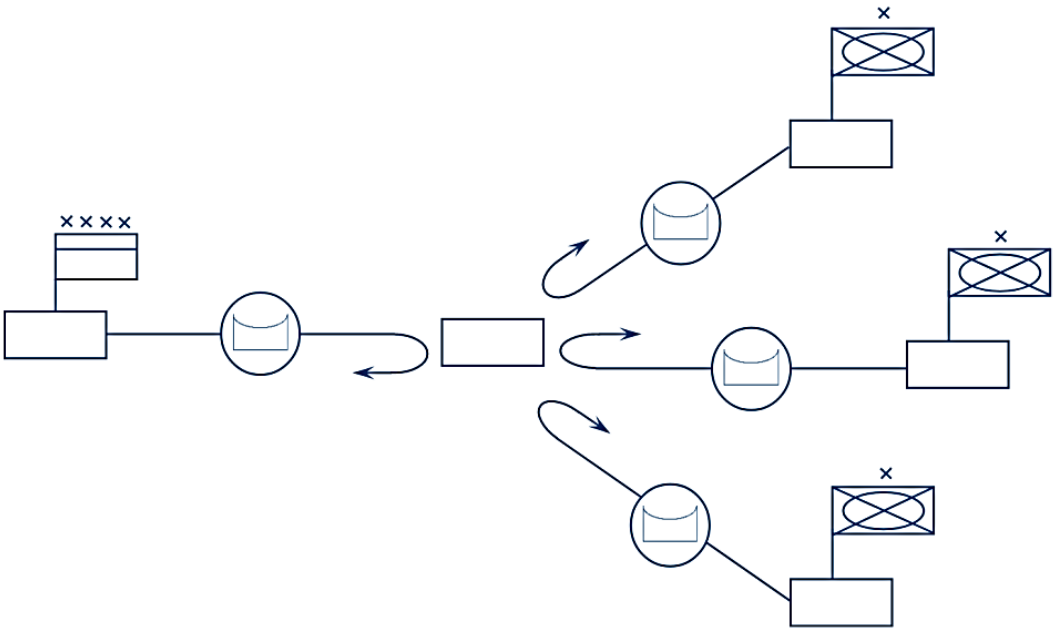


Рис. 3. Вісь ФПЗ

З вищевикладеного стає зрозумілим: доставка бойових документів до пунктів управління (штабів) здійснюється винятково за допомогою рухомих транспортних засобів. До рухомих засобів відносять:

− авіаційні (літаки і вертольоти);

− наземні (бронетранспортери, автомобілі, мотоцикли та ін.);

– морські (посильні судна (катери));
– залізничні (поштові (багажні) вагони, купе пасажирських поїздів);
– інші засоби доставки (транспортування), що використовуються для забезпечення військ ФПЗ.

Найбільш доступними (поширеними) засобами ФПЗ є рухомі транспортні засоби. Серед них перевага віддається не гусеничній, а колісній техніці, яка «вдягнена» в броню. Гусенична техніка має малу швидкість руху, тому використовується дуже рідко.

Водночас варто зазначити, що до рухомих транспортних засобів висуваються певні вимоги: висока швидкість руху, висока прохідність по бездоріжжю, високий захист від куль та осколків різноманітних боєприпасів. Саме тому як рухомі транспортні засоби використовуються бронеавтомобілі: «Козак-2», TLC 79 APC-SH FIGHTER на базі Toyota Land Cruiser 79, «Варта» та «Новатор», «Дозор-Б», «Oncilla-M», «Барс-8». Не виключається використання й інших бойових броньованих машин, які стоять на озброєнні ЗСУ (БТР, БМП, БМД та інших).

В окремих випадках, у тилових зонах з'єднань та об'єднань, де застосування противником засобів ураження не становить загрози, можуть застосовуватися небронювані рухомі транспортні засоби.

Отже, використання броньованих та небронюваних рухомих транспортних засобів для організації та забезпечення фельд'єгерсько-поштового зв'язку є важливою складовою системи управління, особливо в умовах воєнного часу або підвищених загроз інформаційній безпеці. Він забезпечує гарантовану доставку критично важливої інформації там, де інші засоби можуть бути ненадійними або скомпрометованими.

***Бондаренко Павло Якович*** – старший викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3222, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com)

***Віщун Ігор Вячеславович*** – викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3222, e-mail: viv@vntu.edu.ua )

***Pavlo Bondarenko*** – Senior Lecturer at the Department of Military Training of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic Street, room 3222, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com***)***

***Vishchun Igor Vyacheslavovich*** – lecturer at the Department of Military Training of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic Street, room 3222, e-mail: viv@vntu.edu.ua)

УДК 629.113

**Борисюк Д.В., Іванов Ю.Ю., Зелінський В.Й., Вдовиченко О.В.**

# МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСІВ КОМПЛЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ

*В роботі представлено основні моменти моніторингу процесів комплектування деталей та складання вузлів і агрегатів транспортних засобів.*
***Ключові слова:*** *моніторинг, комплектування, деталь, вузол, складальна одиниця, транспортний засіб, критерій, показник.*

*The main points of monitoring the processes of completing parts and assembling components and assemblies of vehicles are presented in the work*
***Keywords:*** *monitoring, assembly, part, assembly unit, vehicle, criterion, indicator.*

Для здійснення контролю за якістю процесу комплектування та складання вузлів та агрегатів транспортних засобів необхідно встановити моніторингові показники та критерії (кількісні та якісні), а також визначити методику їх збору та аналізу. Також для регулювання моніторингових показників мають бути визначені фактори, що впливають на їх значення [1]. Систематизація основних факторів, що впливають на аналізований процес, дозволяє структурувати потенційні причини невідповідностей, оскільки дефекти, що виникають, будуть пов'язані з представленими факторами, що може суттєво спростити їх контроль [2].

Запропоновані критерії, показники та індикатори для моніторингу процесу комплектування та складання вузлів та агрегатів транспортних засобів при їх ремонті представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Моніторингові показники якості комплектування деталей і складання вузлів

| Критерій | Показники | Індикатор | Метод збирання інформації |
|---|---|---|---|
| Відповідність геометричних параметрів деталей вимогам технічної документації | Точність посадок та взаємного розташування з'єднань деталей та складальних одиниць | Відхилення від точності взаємного розташування деталей та вузлів | Вимірювання |
| | | Радіальне та осьове биття | Вимірювання |
| | Площинність, паралельність та перпендикулярність поверхонь напрямних | Нещільність прилягання поверхонь, що сполучаються, та ін. | Вимірювання |
| | | Правильність положення деталей, що сполучаються і вузлів | Огляд |
| Відповідність технології складальних операцій | Послідовність складання | Наявність необхідних деталей у зібраних з'єднаннях | Огляд |
| | | Виконання допоміжних операцій | Огляд |
| | Виконання спеціальних вимог | Затягування різьбових з'єднань, щільність та якість постановки заклепок, щільність вальцювальних та інших з'єднань | Вимірювання |
| | | Врівноваженість вузлів обертання, підгонка по масі та статичному моменту | Вимірювання |

Так як більша кількість інформації для оцінки індикаторів та показників отримується

вимірювальним методом, очевидно, що якість комплектування та складання залежить від рівня метрологічного забезпечення підприємства [3]. Таким чином, важливим кроком при цифровізації підприємства, поряд із створенням та впровадженням цифрових моделей процесів, є перехід вимірювальних процесів на цифрові засоби вимірювань. Метрологічне забезпечення може бути розглянуто як окремий процес, для якого доцільно розробляти свою систему моніторингу [4].

Крім того, необхідно враховувати, що в багатьох випадках виконання критерію «Відповідність геометричних параметрів деталей вимогам технічної документації» для різних величин визначатиметься нормуванням похибки вимірювань, що допускається [5].

Для аналізу зібраних даних можна використовувати такі інструменти як: карти Шухарта (стабільність та керованість процесу), кореляційний аналіз (оцінка взаємозв'язку зміни контрольованих показників), діаграма Парето (вибір пріоритетних шляхів регулювання якості процесу) [6]. Значення, отримані в результаті моніторингу, можуть бути також використані як ключові показники ефективності.

Запропонована система моніторингу може бути доповнена іншими показниками та критеріями з урахуванням особливостей конкретної складальної операції.

**Список використаних джерел**

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

2. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2011. 56 с. (Інформація та документація).

3. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.

4. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів. Львів : Львівська політехніка, 2017. 324 с.

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

6. Борисюк Д.В., Вдовиченко О.В., Винокуров А.Є. Вплив похибки вимірювань на якість комплектування та збирання вузлів транспортних засобів під час ремонту. *Матеріали XVIII-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, 20-22 жовтня 2025 року (м. Вінниця). С. 78-80.

***Борисюк Дмитро Вікторович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

***Іванов Юрій Юрійович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету.

***Зелінський Вячеслав Йосипович*** – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного.

***Вдовиченко Олександр Володимирович*** – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

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

***Ivanov Yuriy*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Intellectual Information Technologies of Vinnytsia National Technical University.

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

***Vdovichenko Oleksandr*** – Assistant of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical.

УДК 629.13 (075.8)

**Бохонко А.В., Зінько Р.В.**

# ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМОБІЛЯ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ

*Для підвищення прохідності автомобілів на бездоріжжі пропонується знижувати тиск на ґрунт за допомогою аерокомпенсатора. Ця система поєднує традиційний колісний хід із дією підйомного вентилятора: повітря нагнітається у внутрішню камеру кузова, формуючи повітряну подушку, яка частково піднімає машину над поверхнею.*

*Ефективність такої конструкції досліджували у середовищі Solidworks, порівнюючи варіанти з двома вентиляторами. Аналіз показав наступне: швидкість потоку досягає 60 км/год, а швидкість на кінчиках лопатей перевищує 250 км/год.*

***Ключові слова:*** *аерокомпенсатор, повітряна подушка, прохідність автомобіля, питомий тиск на ґрунт, підйомний вентилятор, гібридний рушій*

*To improve the off-road performance of vehicles, it is proposed to reduce the pressure on the ground using an air compensator. This system combines traditional wheel travel with the action of a lifting fan: air is pumped into the inner chamber of the body, forming an air cushion that partially lifts the vehicle above the surface.*

*The effectiveness of this design was studied in Solidworks, comparing options with two fans. The analysis showed the following: the flow velocity reaches 60 km/h, and the velocity at the tips of the blades exceeds 250 km/h.*

***Keywords:*** *air compensator, air cushion, vehicle passability, specific pressure on the ground, lifting fan, hybrid drive*

Існують різні способи покращення прохідності транспортних засобів при русі по бездоріжжю: потужність двигуна; масо-габаритні характеристики автомобіля; питомий тиск на поверхню; характеристики шин; тип трансмісії; кліренс; кінематика підвіски. Зменшення тиску на опорну поверхню дозволяє забезпечити неруйнування опорного шару в місці дотику з рушієм.

Автомобіль з аерокомпенсатором використовує підйомний вентилятор, який нагнітає повітря в камеру тиску (яка розташована всередині кузова автомобіля), а потім повітря спрямовується до подушки. Повітря, яке надуває подушку, піднімає автомобіль над землею. Повітря, яке виходить із подушки, створює бар'єр, що зменшує тертя й дозволяє автомобілю рухатися з меншим навантаженням на опорну поверхню.

Для вибору необхідного підйомного двигуна слід розрахувати необхідний манометричний тиск на дні повітряної подушки. Необхідна інформація може бути отримана за допомогою наступного рівняння [1]:

$$P_r = \frac{m \times g}{A} \quad (1)$$

де $m$ – це загальна маса автомобіля (включаючи вантаж),

$g$ – прискорення вільного падіння,

$A$ – площа повітряної подушки.

Слід зазначити, що наведена формула надає лише грубу оцінку й не враховує різноманітні втрати енергії, які можуть виникати під час роботи.

Сила підйому на схилі пов'язана з рухом автомобіля на похилій площині й може бути обчислена за формулою [2]:

$$F_{cl} = m \times g \times sin\emptyset \quad (2)$$

де $F_{cl}$ – необхідна сила підйому на схилі,

φ – кут нахилу.

Сила аеродинамічного опору – це сила, що створюється цими молекулами при русі твердого об'єкта вперед. Цю силу потрібно подолати, оскільки вона діє як сила тертя й уповільнює рух. Вона залежить від багатьох змінних, таких як площа поперечного перерізу судна, щільність повітря й геометричні параметри, і може бути розрахована за формулою [1]:

$$F_D = \frac{1}{2} \times p \times A \times C_d \times V^2 \quad (3)$$

де $F_D$ – сила аеродинамічного опору, що діє на судно,
$p$ – щільність повітря,
$A$ – площа поперечного перерізу автомобіля,
$C_d$ – коефіцієнт опору,
$V$ – швидкість автомобіля.

Необхідну силу прискорення можна визначити за формулою [1,2]:

$$F_a = m \times a \quad (4)$$

де $F_a$ – сила прискорення.

Також слід враховувати кінематичні формули для більш детального аналізу сили прискорення:

$$V = V_0 + at \quad (5)$$

де $V$ – кінцева швидкість автомобіля,
$V_0$ – початкова швидкість автомобіля,
$t$ – час для досягнення необхідної швидкості.

Ураховуючи необхідні й діючі сили на судно, загальна необхідна тяга може бути розрахована так:

$$F_t = F_d + F_{cl} + F_a \quad (6)$$

Було проведено за допомогою програмного забезпечення Solidworks аналіз впливу аерокомпенсатора на питомий тиск автомобіля на опорну поверхню. На рис. 1 показано основні елементи автомобіля з аерокомпенсатором.

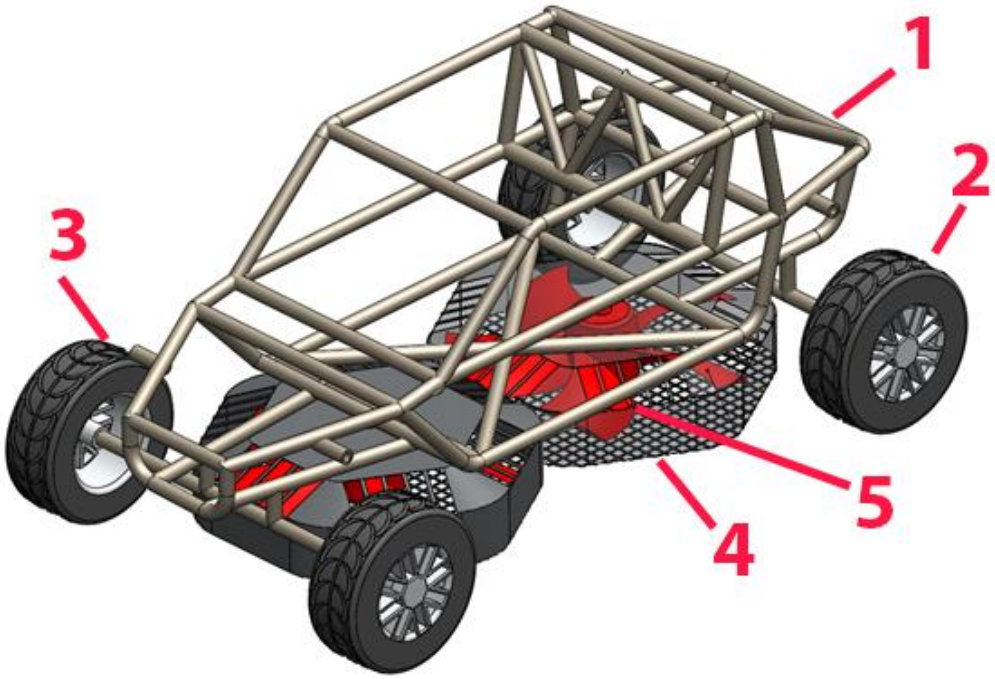



Рисунок 1 – Основні елементи автомобіля з аерокомпенсатором:
1 – каркас; 2 – задні тягові колеса; 3 – передні тягові колеса; 4 – спідниця аерокомпенсатора; 5 – вентилятор аерокомпенсатора

На рис. 2 показано результати моделювання руху повітряного потоку навколо корпусу і величину зменшення навантаження на опорну поверхню при двох вентиляторах.

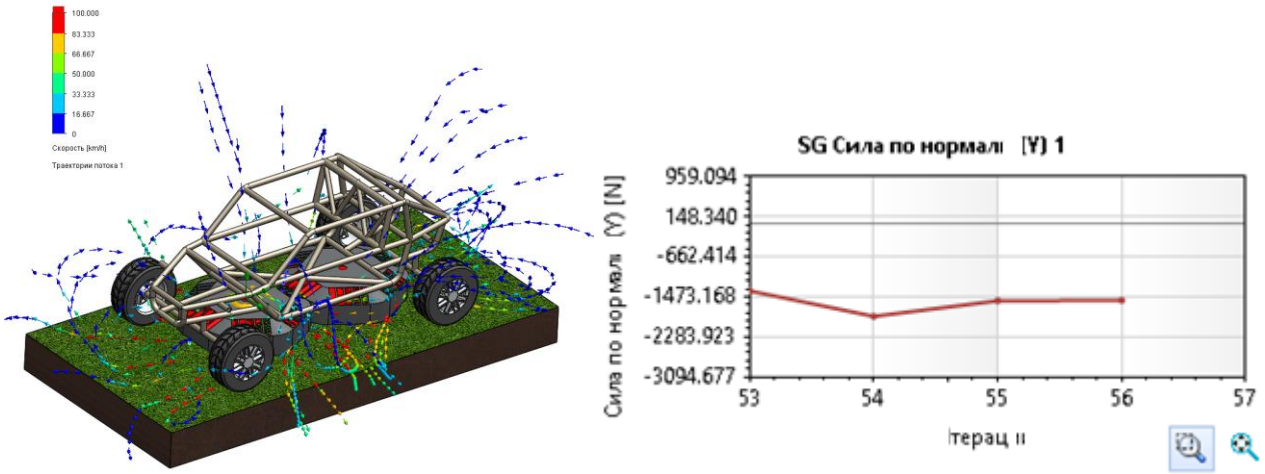



Рисунок 2 – Моделювання повітряного потоку навколо корпусу при двох вентиляторах

Матеріал лопатей вентиляторів - титан ВТ6, 1500 об/хв, діаметр 1450 мм, середня підйомна сила -1473 Н.

Прохідність автмобілів в умовах бездоріжжя можна покращити, зменшивши вертикальне навантаження на опорну поверхню. Реалізувати це можна поєднавши колісний рушій і аерокомпенсатор (повітряний вентилятор направленої дії.

На основі проведеного моделювання для багі з двома вентиляторами, що складають систему аерокомпенсації, встановлено, що основна швидкість потоку повітря при двох вентиляторах досягає близько 60 км/год, в зоні вентилятора 130 км/год, та локально на краях лопаток більше 200 км/год.

**Список використаних джерел**

1. Матейчик В.П. Особливості моделювання руху автомобіля підвищеної прохідності в експлуатаційних умовах / В.П.Матейчик, Д.В.Савенок // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2018. – №6(112). – С. 27 – 33.

2. J. Anderson, “Fundamentals of Aerodynamics”, 6th ed., McGraw Hill, New York, USA: 2016.

***Бохонко Андрій Віталійович*** – аспірант кафедри проектування машин та автомобільної інженерії, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: andrii.v.bokhonko@lpnu.ua

***Зінько Роман Володимирович*** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри системи автоматизованого моделювання, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: rzinko@gmail.com

***Bokhonko Andrii*** – postgraduate student of the Department of Machine Design and Automotive Engineering, Lviv Polytechnic National University, e-mail: andrii.v.bokhonko@lpnu.ua

***Zinko Roman*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automated Modeling Systems, Lviv Polytechnic National University, e-mail: rzinko@gmail.com

УДК 691.175

**Бужор А.Ю.**

# ІНТЕРАКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

*Використання інтерактивних технологій навчання у підготовці фахівців автомобільного транспорту підвищує якість освітнього процесу, сприяє формуванню професійних компетентностей і розвитку практичних умінь студентів. Упровадження цифрових ресурсів, відеолекцій та елементів штучного інтелекту забезпечує ефективність навчання в умовах дистанційної освіти.*

***Ключові слова:*** *інтерактивні технології навчання, фахівці автомобільного транспорту, професійна підготовка, освітній процес, дистанційне навчання, цифрові ресурси, кейс-метод, ділові ігри, мультимедійні засоби, штучний інтелект.*

*The use of interactive learning technologies in the training of automobile transport specialists improves the quality of the educational process, contributes to the formation of professional competencies, and develops students' practical skills. The introduction of digital resources, video lectures, and artificial intelligence elements ensures the effectiveness of learning in distance education.*

***Key words:*** *interactive learning technologies, automobile transport specialists, professional training, educational process, distance learning, digital resources, case method, business games, multimedia tools, artificial intelligence.*

Сучасний розвиток автомобільного транспорту, оновлення виробничих технологій, цифровізація транспортної галузі та зростання вимог до професійної компетентності майбутніх фахівців зумовлюють необхідність удосконалення змісту і форм їх підготовки у закладах освіти. У цих умовах особливого значення набуває впровадження інтерактивних технологій навчання, які сприяють активізації пізнавальної діяльності студентів, розвитку критичного мислення, формуванню практичних умінь, навичок самостійної роботи та професійної комунікації [1 ,3, 7].

Традиційні підходи до викладання спеціальних дисциплін не завжди забезпечують достатній рівень залучення здобувачів освіти до освітнього процесу, що, своєю чергою, впливає на якість засвоєння знань і готовність до майбутньої професійної діяльності. Саме тому актуальним є пошук і застосування таких педагогічних технологій, які б поєднували теоретичну підготовку з практичною спрямованістю навчання [3, 4].

Інтерактивні технології навчання дають можливість створити освітнє середовище, у якому студент виступає не пасивним слухачем, а активним учасником навчального процесу. Використання кейс-методів, дискусій, ділових ігор, моделювання виробничих ситуацій, цифрових платформ та мультимедійних засобів дозволяє підвищити ефективність засвоєння навчального матеріалу та наблизити підготовку студентів до реальних умов професійної діяльності [3, 5, 7].

Проблема впровадження інтерактивних технологій у фахову підготовку майбутніх спеціалістів автомобільного транспорту є особливо важливою в контексті компетентнісного підходу до освіти, який орієнтує освітній процес на формування не лише системи знань, а й здатності застосовувати їх у практичній діяльності [1, 8].

Інтерактивні технології навчання сьогодні є важливою складовою підготовки майбутніх фахівців автомобільного транспорту, оскільки дають змогу поєднувати теоретичний матеріал із практичною діяльністю студентів. Їх використання сприяє формуванню професійних компетентностей, розвитку самостійності, уміння аналізувати виробничі ситуації, приймати рішення та працювати в команді [3, 5, 7].

У практиці користуюсь інтерактивними методами і цифровими ресурсами, які допомагають зробити освітній процес більш наочним, послідовним і практикоорієнтованим. Особливо ефективними у підготовці здобувачів освіти транспортного профілю є кейс-метод, ділові ігри, робота з цифровими платформами та інтерактивне тестування.

Одним із найбільш результативних методів є кейс-метод. Його сутність полягає в аналізі конкретної виробничої або навчально-професійної ситуації, яка потребує обговорення та пошуку оптимального рішення. Наприклад, під час вивчення дисциплін, пов'язаних з організацією перевезень, безпекою дорожнього руху або технічною експлуатацією транспортних засобів, студентам можна запропонувати кейси на теми порушення графіка перевезень, виникнення небезпечної ситуації на маршруті, вибору найбільш ефективного способу доставки вантажу, організації роботи автотранспортного підприємства чи аналізу причин несправності автомобіля. У процесі роботи над кейсом студенти вчаться виділяти головну проблему, аналізувати причини її виникнення, співставляти декілька варіантів рішень і обґрунтовувати власну позицію [3, 7]. Такий підхід не лише активізує пізнавальну діяльність, а й наближає навчання до реальних умов майбутньої професійної діяльності.

Не менш важливим у підготовці фахівців автомобільного транспорту є використання ділових ігор та моделювання професійних ситуацій. У своїй практиці я користуюсь цим методом під час вивчення тем, пов'язаних з логістикою, диспетчерським управлінням, організацією дорожнього руху та взаємодією учасників транспортного процесу. Наприклад, студентам пропонуються ролі диспетчера, водія, логіста, механіка, замовника перевезення або інспектора з безпеки руху. У межах такої роботи вони мають не лише виконати своє завдання, а й узгодити власні дії з іншими учасниками. Це формує вміння працювати в колективі, розвиває професійне мовлення, відповідальність за прийняті рішення та навички комунікації. Крім того, ділова гра сприяє емоційному залученню студентів до навчання, а отже — кращому засвоєнню матеріалу [3, 7].

Важливе місце у моїй практиці займає використання Google Classroom як засобу організації навчальної взаємодії. Цей ресурс дає можливість систематизувати навчальні матеріали, розміщувати лекції, презентації, інструкції до практичних робіт, тестові завдання, додаткові джерела та оперативно здійснювати зворотний зв'язок зі студентами. Особливо цінним є те, що студенти можуть у будь-який час повернутися до навчального матеріалу, повторити тему, виконати завдання або поставити запитання. Для дисциплін транспортного спрямування це є важливим, оскільки значна частина матеріалу потребує уважного опрацювання схем, таблиць, технічних характеристик та алгоритмів дій. Використання цієї платформи забезпечує послідовність навчання та підвищує рівень самоорганізації здобувачів освіти [4, 5].

Особливого значення інтерактивні технології набули в умовах дистанційного навчання та складної енергетичної ситуації. У своїй практиці в періоди відключень електроенергії почала активно записувати лекції на YouTube-каналі та прикріплювати до навчальних матеріалів посилання з поясненням теми для студентів. Такий підхід дає можливість здобувачам освіти переглядати лекційний матеріал у зручний для себе час, повертатися до складних питань, повторно опрацьовувати окремі фрагменти та краще засвоювати навчальний матеріал. Це особливо важливо в умовах дистанційного формату навчання, коли не всі студенти мають змогу бути присутніми онлайн під час заняття через технічні труднощі або нестабільне електропостачання. Використання відеолекцій забезпечує безперервність освітнього процесу, підтримує доступність навчання та створює більш гнучкі умови для формування професійних знань і компетентностей майбутніх фахівців автомобільного транспорту. [4, 5]

Для перевірки знань і активізації навчальної діяльності користуюсь Google Forms, Quizizz або Kahoot. Інтерактивне тестування дозволяє швидко перевірити рівень засвоєння теми, виявити типові помилки та одразу обговорити їх зі студентами. Перевагою таких ресурсів є оперативність, наочність результатів і можливість перетворити перевірку знань на більш динамічний та мотивувальний процес. Наприклад, після вивчення тем з будови

транспортних засобів, організації перевезень або правил безпеки руху студенти проходять коротке тестування, за результатами якого можна визначити, які питання потребують додаткового пояснення. Такий формат сприяє не лише контролю знань, а й самоконтролю, що є важливою складовою професійної підготовки [3, 5].

Ефективним засобом підвищення зацікавленості студентів є також використання мультимедійних презентацій, інтерактивних схем, відеофрагментів і віртуальних демонстрацій. У підготовці майбутніх фахівців автомобільного транспорту наочність має особливе значення, адже багато процесів і механізмів складно сприймати лише в текстовому описі. Тому в своїй практиці я користуюсь презентаційними матеріалами, схемами роботи вузлів автомобіля, таблицями, маршрутними моделями, відео з прикладами виробничих ситуацій. Це допомагає краще пояснити будову транспортних засобів, особливості логістичних процесів, принципи організації руху та вимоги до безпеки перевезень. Поєднання візуальної інформації з обговоренням і практичними завданнями забезпечує більш глибоке засвоєння навчального матеріалу [5, 7, 8].

Одним із перспективних напрямів удосконалення підготовки фахівців автомобільного транспорту є використання технологій штучного інтелекту в освітньому процесі. Інструменти штучного інтелекту як допоміжний засіб для пояснення навчального матеріалу, підбору прикладів, створення тестових завдань, візуалізації складних технічних процесів і організації індивідуальної роботи студентів. Використання ШІ дає можливість адаптувати подачу матеріалу до рівня підготовки здобувачів освіти, підвищувати їхню зацікавленість і забезпечувати оперативний доступ до додаткових пояснень. Водночас застосування таких технологій потребує педагогічного контролю, розвитку критичного мислення студентів та формування відповідального ставлення до використання цифрових ресурсів. У підготовці майбутніх фахівців автомобільного транспорту штучний інтелект доцільно розглядати не як заміну викладача, а як сучасний інструмент підтримки навчання, що розширює можливості освітнього процесу [2, 6].

Отже, використання інтерактивних технологій навчання у підготовці фахівців автомобільного транспорту є важливою умовою підвищення якості освітнього процесу. Їх упровадження сприяє активізації пізнавальної діяльності студентів, формуванню професійних компетентностей, розвитку самостійності, критичного мислення, комунікативних умінь і здатності приймати рішення в умовах, наближених до майбутньої професійної діяльності.

У результаті дослідження встановлено, що найбільш ефективними у підготовці здобувачів освіти транспортного профілю є кейс-метод, ділові ігри, інтерактивне тестування, цифрові освітні платформи та мультимедійні ресурси. У власній практиці їх використання дає змогу поєднувати теоретичну підготовку з практичною спрямованістю навчання, підвищувати зацікавленість студентів та забезпечувати більш глибоке засвоєння навчального матеріалу.

Особливої актуальності інтерактивні технології набули в умовах дистанційного навчання та енергетичних труднощів. Використання відеолекцій, розміщених на YouTube-каналі, а також надання студентам посилань для самостійного опрацювання теми забезпечує доступність навчання, гнучкість освітнього процесу та можливість опановувати матеріал у зручний час. Це дозволяє підтримувати безперервність навчання й адаптувати освітній процес до сучасних викликів.

Таким чином, інтерактивні технології навчання мають значний потенціал у системі підготовки майбутніх фахівців автомобільного транспорту та є важливим засобом удосконалення професійної освіти в сучасних умовах.

**Список використаних джерел**

1. Про освіту : Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.
2. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні : розпорядження Кабінету Міністрів України від 02.12.2020 № 1556-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.

3. Пометун О. І., Пироженко Л. В. Сучасний урок. Інтерактивні технології навчання : наук.-метод. посіб. / за ред. О. І. Пометун. Київ : А.С.К., 2004. 192 с.
4. Бугайчук К. Л. Змішане навчання: теоретичний аналіз та стратегія впровадження в освітній процес вищих навчальних закладів. Інформаційні технології і засоби навчання. 2016. Т. 54, № 4. С. 1–18. DOI: 10.33407/itlt.v54i4.1434.
5. Вдовичин Т. Я., Когут У. П., Сікора О. В. Цифрові інструменти Google для організації освітнього процесу педагогічного університету в кризових ситуаціях. Інформаційні технології і засоби навчання. 2022. Т. 92, № 6. С. 75–98. DOI: 10.33407/itlt.v92i6.5093.
6. Гуназа Л. М. Штучний інтелект у сучасній освіті: трансформація ролі вчителя, підвищення якості навчання та нові можливості для учнів. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах. 2023. № 90. С. 46–53. DOI: 10.32782/1992-5786.2023.90.8.
7. Ярощук К., Неговський І. Впровадження інтерактивних технологій у процес професійної підготовки майбутніх фахівців транспортної галузі. Вісник Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки. 2024. № 29–30 (185–186). С. 69–74. DOI: 10.58407/visnik.242913.
8. Осташук Л. Д. Проблеми професійної підготовки фахівців автомобільного транспорту та кроки їх вирішення // Підготовка майбутніх фахівців автомобільного транспорту : матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, 17 трав. 2018 р. Львів, 2018. С. 69–75.

***Бужор Анна Юріївна*** – викладач спецдисциплін І категорії Відокремленого структурного підрозділу «Автотранспортного фахового коледжу Криворізького національного університету» (50042, м. Кривий Ріг, вул. Едуарда Фукса, 26а ауд. 453, e-mail kapinusann@gmail.com )

***Anna Yuriiivna Buzhor*** **–** Lecturer of Special Disciplines, First Qualification Category, Category, Separate Structural Unit Automobile Transport Professional College of Kryvyi Rih National University (Room 453, 26a Eduarda Fuchsa St., Kryvyi Rih, 50042, Ukraine, e-mail: kapinusann@gmail.com)

УДК 378:629:004

**Бурдун В.В., Ревякіна О.О., Бикадорова Н.О., Рожкова А.Ю.**

# СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІН ТРАНСПОРТНОГО СПРЯМУВАННЯ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТИ

*У тезах розглянуто сучасні підходи до викладання дисциплін транспортного спрямування в умовах цифровізації освіти. Проаналізовано роль електронних навчально-методичних комплексів, змішаного навчання, симуляторів, віртуальних лабораторій та технологій VR у підготовці майбутніх фахівців. Обґрунтовано доцільність переходу до компетентнісної, студентоцентрованої моделі навчання з активним використанням цифрових ресурсів. Показано, що інтеграція сучасних освітніх технологій сприяє підвищенню ефективності навчального процесу, розвитку професійних і цифрових компетентностей здобувачів освіти та покращенню їх готовності до діяльності у транспортній галузі.*

***Ключові слова:*** *цифровізація освіти, транспортна освіта, змішане навчання, електронні навчальні ресурси, віртуальні лабораторії, симулятори, VR-технології, компетентнісний підхід, професійна освіта.*

*The theses consider modern approaches to teaching transport-oriented disciplines in the context of education digitalization. The role of electronic educational and methodological complexes, blended learning, simulators, virtual laboratories, and VR technologies in the training of future specialists is analyzed. The expediency of transitioning to a competency-based, student-centered learning model with the active use of digital resources is substantiated. It is shown that the integration of modern educational technologies contributes to increasing the effectiveness of the educational process, developing professional and digital competencies of students, and improving their readiness for professional activity in the transport sector.*

***Key words:*** *digitalization of education, transport education, blended learning, e-learning resources, virtual laboratories, simulators, VR technologies, competency-based approach, vocational education.*

Сучасний етап розвитку освіти характеризується активною цифровізацією навчального процесу, що суттєво змінює підходи до викладання дисциплін транспортного спрямування. Для підготовки майбутніх фахівців транспортної галузі вже недостатньо лише традиційного лекційно-практичного формату, оскільки професійне середовище дедалі більше пов’язане з цифровими платформами, електронними навчальними ресурсами, системами моделювання, віртуальними лабораторіями та інтелектуальними інструментами підтримки навчання. У міжнародних аналітичних документах наголошується, що цифрова трансформація освіти пов’язана не лише з впровадженням техніки, а й із переглядом педагогічних моделей, забезпеченням якості цифрового навчання та розвитком цифрових компетентностей викладачів [1-7].

Особливої актуальності це набуває у викладанні транспортних дисциплін, де значна частина змісту пов’язана з вивченням конструкції автомобіля, технічного обслуговування, діагностики, матеріалів, експлуатаційних процесів і технологічних операцій [8-14]. За таких умов ефективним є використання електронних навчально-методичних комплексів, які поєднують теоретичні матеріали, лабораторні завдання, тестування, довідкову інформацію та засоби самостійної роботи. На прикладі електронного комплексу “Construction of car” [15] показано, що така організація навчання у підготовці майбутніх педагогів професійної освіти транспортного профілю підвищує мотивацію здобувачів, сприяє розвитку інформаційної культури й покращує готовність до використання ІКТ у майбутній професійній діяльності.

Одним із провідних сучасних підходів є змішане навчання, яке поєднує аудиторну взаємодію з цифровими активностями. Для транспортних спеціальностей цей формат є особливо цінним, оскільки дозволяє перенести частину теоретичної підготовки, тестового контролю,

роботи з технічною документацією, відеоаналізу вузлів і механізмів у цифрове середовище, залишаючи аудиторний час для розбору професійних ситуацій, лабораторних досліджень і практикоорієнтованих завдань. Систематичний огляд досліджень у галузі інженерної освіти показує, що *blended learning* сприяє формуванню більш складних навчальних результатів, зокрема аналітичного мислення, уміння працювати з професійними задачами та інтегрувати теоретичні й практичні компоненти підготовки [16].

Перспективним напрямом є також застосування симуляторів, віртуальних лабораторій та технологій VR [17-22]. Для дисциплін транспортного циклу такі засоби дають можливість безпечно відпрацьовувати професійні дії, моделювати будову й роботу агрегатів, аналізувати типові несправності та формувати практичні навички без ризику пошкодження обладнання. Дослідження щодо використання симуляторів у професійній освіті свідчать, що їх ефективність зростає тоді, коли вони інтегровані в загальну педагогічну систему, а не використовуються ізольовано. Водночас експериментальні роботи з VR в інженерній освіті показують покращення результатів навчання, вищий рівень залученості студентів і краще збереження знань у порівнянні з традиційним форматом [20-22].

Важливою ознакою сучасного викладання транспортних дисциплін є перехід від передачі готової інформації до інтерактивної, студентоцентрованої та компетентнісної моделі навчання. За такої моделі цифрові ресурси використовуються не як допоміжний додаток, а як інструмент організації самостійної роботи, формувального оцінювання, оперативного зворотного зв'язку, індивідуалізації темпу навчання та побудови професійно наближених кейсів. OECD [1] підкреслює, що якісна цифрова освіта потребує належної підготовки викладачів, розвитку їх цифрових і педагогічних компетентностей, а також інституційної підтримки впровадження нових технологій. Це особливо важливо для транспортної освіти, де викладач має поєднувати предметну, методичну та цифрову компетентності [1, 2, 23-29].

Також слід зазначити, що наповнення дисциплін пов'язаних з транспортною галуззю доаткомим навчальним матеріалом основаних на сучасних досягеннях науки та техніки [30- 43] сприятимуть більш якісному навчанню студентів.

Сучасні дисципліни транспортного спрямування доцільно наповнювати навчальним матеріалом, що базується на актуальних наукових дослідженнях у галузі трибології, зношування та контактної взаємодії матеріалів, які широко представлені у роботах сучасних дослідників [41-44].

Отже, сучасні підходи до викладання дисциплін транспортного спрямування в умовах цифровізації освіти доцільно пов'язувати з упровадженням електронних навчально-методичних комплексів, змішаного навчання, симуляційних технологій, віртуальної та доповненої реальності, цифрового оцінювання та інтерактивних освітніх платформ. Їх застосування сприяє підвищенню наочності, практичної спрямованості, гнучкості та результативності навчального процесу. Водночас ефективність цифровізації визначається не лише технічним забезпеченням, а передусім методично виваженим проєктуванням навчання, готовністю викладача до інновацій та орієнтацією на формування професійних компетентностей майбутнього фахівця транспортної галузі.

**Список використаних джерел**

1. Staring F., Brown M., Bacsich P., Ifenthaler D. Digital higher education: emerging quality standards, practices and supports [Електронний ресурс] // OECD Education Working Papers. – 2022. – No. 281. – Режим доступу: https://doi.org/10.1787/f622f257-en (дата звернення: 02.04.2026).
2. OECD (2024), Education Policy Outlook 2024: Reshaping Teaching into a Thriving Profession from ABCs to AI, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/dd5140e4-en.
3. Paños-Castro, J.; Korres, O.; Iriondo, I.; Petchamé, J. Digital Transformation and Teaching Innovation in Higher Education: A Case Study. Educ. Sci. 2024, 14, 820. https://doi.org/10.3390/educsci14080820

4. Бурдун В. В., Ревякіна О. О., Колеснікова Є. Б. Деякі приклади застосування інформаційних технологій в автомобільній галузі та освіті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: IX-та міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 30–34.

5. 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. ISBN 978-966-641-929-6.

6. 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.

7. 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: XV-та міжн. науково-практичн. конф., 8–9 листопада 2022 р.: зб. наук. праць. Запоріжжя: Національний університет Запорізька політехніка з УкрНДІСпецСталь, 2022. С. 78–80.

8. 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.

9. 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.

10. 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. ISBN 978-966-641-929-6.

11. 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

12. 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.

13. 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

14. Віктор Васильович Бурдун, Валерій Олександрович Колесніков, Наталія Олексіївна Бикадорова. Перспективи та необхідність застосування сучасних комп'ютерних програмних комплексів в навчальному процесі для підготовки фахівців в транспортній галузі. 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.442-443. ISBN 978-966-641-935-7.

15. Pohorielov, M.H., Lavrentieva, O.O., Bondarenko, V.I., Britchenko, I.G. and Dorohan, A.A., 2024. Electronic educational methodical complex "Construction of car" in vocational training of future teachers of professional education. CTE Workshop Proceedings [Online], 11, pp.255–272. Available from: https://doi.org/10.55056/cte.686.

16. R.Sala, A.Maffei, F.Pirola, F.Enoksson, S.Ljubić, A.Skoki, J. P.Zammit, A.Bonello, P.Podržaj, T.Žužek, P. C.Priarone, D.Antonelli, and G.Pezzotta, Blended learning in the engineering field: a systematic literature review, Comput. Appl. Eng. Educ. 32, (2024), e22712. https://doi.org/10.1002/cae.22712

17. Колесников В.А., Сыроваткин С.В., Колесникова Е.Б. Использование технологий виртуальной реальности для подготовки специалистов в области автомобильного транспорта. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту: IV-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 14–15 квітня 2016 р.: мат. конф. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2016. С. 18 -22.

18. Sofia Nyström, Song-ee Ahn. Teaching with simulators in vocational education and training—From a storing place to a new colleague. Teaching and Teacher Education 2024, 138, 104409. https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104409

19. 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.

20. Anjos, Fernando Elemar Vicente dos, Adriano de Oliveira Martins, Gislene Salim Rodrigues, Miguel Afonso Sellitto, and Debora Oliveira da Silva. 2024. "Boosting Engineering Education with Virtual Reality: An Experiment to Enhance Student Knowledge Retention" Applied System Innovation 7, no. 3: 50. https://doi.org/10.3390/asi7030050

21. Колеснікова Є. Б. Сучасні тенденції при викладанні дисциплін пов'язаних з автомобільним транспортом. перспективи застосування технологій віртуальної і доповненої реальності // Матеріали IX-ої міжнародної науково-технічної інтернет- конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2021 року: збірник наукових праць. – Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 135 – 138.

22. Javaid, M.; Haleem, A.; Singh, R.P.; Dhall, S. Role of Virtual Reality in advancing education with sustainability and identification of additive manufacturing as its cost-effective enabler. Sustainable Futures 2024, 8, 100324. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100324

23. 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.

24. Бикадорова Н.О., Колесніков В.О., Бурдун В.В., Балицька В.О. Застосування комп'ютерного моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. конф., 23–25 жовт. 2023 р., м. Вінниця. Вінниця, 2023. С. 60–62.

25. Бурдун В.В., Васецька Л.О., Ревякіна О.О., Рожкова А.Ю. Комплексний підхід щодо викладання дисциплін, пов'язаних з автомобільним транспортом // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: XVI Міжнародна науково-практична конференція, 23–25 жовтня 2023 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 91–93.

26. Рожкова А.Ю., Бурдун В.В., Ревякіна О.О., Бикадорова Н.О., Васецька Л.О. Застосування комп'ютерного забезпечення та моделювання для автономних транспортних засобів // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: XVI Міжнародна науково-практична конференція, 23–25 жовтня 2023 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 306–307. ISBN 978-966-641-950-0.

27. Бурдун В.В., Колесніков В.О., Бикадорова Н.О. Сучасні виклики при викладанні дисциплін в транспортній галузі // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: XVI Міжнар. наук.-практ. конф., 23–25 жовт. 2023 р.: матеріали. Вінниця, 2023. С. 94–95. ISBN 978-966-641-950-0.

28. 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. ISBN 978-617-8163-13-6 (PDF).

29. Бурдун В.В., Ревякіна О.О., Рожкова А.Ю. Приклади застосування деяких комп'ютерних програм при викладанні дисциплін пов'язаних з автомобільним транспортом. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 73–76.

30. Бувалець М. Ю., Рулевська Т. Ф., Колесніков В. О. Стан впровадження водневих технологій на сучасному транспорті // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 31 - 36.

31. 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.

32. Савінова В. В., Стадник О. І., Колесніков В. О. Розвиток і впровадження нанотехнологій в автомобілях // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С. 121 -124.

33. 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.

34. Савінова В. В., Колесніков В.О. Застосування методів комп'ютерного зору в автомобільній індустрії // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С. 113 -120.

35. 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

36. 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.

37. UNESCO. Global Education Monitoring Report 2023: Technology in Education: A Tool on Whose Terms? Paris: UNESCO, 2023.

38. 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.

39. Kopei, V., Onysko, O., Barz, C., Dašić, P., & Panchuk, V. (2023). Designing a Multi-Agent PLM System for Threaded Connections Using the Principle of Isomorphism of Regularities of Complex Systems. Machines, 11(2), 263. https://doi.org/10.3390/machines11020263

40. Ihnatieva, Viktoriia. "Information support for territorial improvement planning." I International Scientific and Practical Conference: Planning and Ensuring Sustainable Development of Socio-Economic Systems. No. Part 1. WSHIU University of Applied Sciences, P.96-98. 2025. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/51465/1/WSHiU.Conf_.18.12.2025_Ihnatieva-96-98.pdf

41. Trzepiecinski, T. A Study of the Coefficient of Friction in Steel Sheets Forming. Metals 2019, 9, 988. https://doi.org/10.3390/met9090988

42. Trzepieciński, T.; Szwajka, K.; Szewczyk, M. Analysis of Surface Topography Changes during Friction Testing in Cold Metal Forming of DC03 Steel Samples. Coatings 2023, 13, 1738. https://doi.org/10.3390/coatings13101738

43. Kopei, V., Onysko, O., Odosii, Z., Pituley, L., & Goroshko, A. (2021). Investigation of the Influence of Tapered Thread Profile Accuracy on the Mechanical Stress, Fatigue Safety Factor and Contact Pressure. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_21

44. Trzepieciński, T. Tribological Performance of Environmentally Friendly Bio-Degradable

Lubricants Based on a Combination of Boric Acid and Bio-Based Oils. Materials 2020, 13, 3892. https://doi.org/10.3390/ma13173892

***Бурдун Віктор Васильович*** – кандидат пед. наук, доцент, зав. каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: burdun_v_v@ukr.net).

***Ревякіна Ольга Олександрівна*** – к.т.н., доцент, каф. технологій виробництва і готельно-ресторанної справи, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка. (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: olga.0509239777@gmail.com).

***Бикадорова Наталія Олексіївна*** – ст. викладач каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: itottstar@gmail.com).

***Рожкова Анастасія Юріївна*** – викладач каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: cracks2010@ukr.net).

***Burdun Viktor*** – Candidate of Pedagogical Sciences (PhD in Education), Associate Professor, Head of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technology and Information Systems, Taras Shevchenko National University of Luhansk (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: (burdun_v_v@ukr.net)

***Reviakina Olga*** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Production Technologies and Hotel and Restaurant Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: olga.0509239777@gmail.com).

***Bykadorova Natalia*** - Senior Lecturer, Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University. (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: itottstar@gmail.com)

***Rozhkova Anastasiia*** – Lecturer, Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University. (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: cracks2010@ukr.net).

УДК 658.7:004.9:338.43:005.8

**Буряк В.В., Кашканов А.А.**

# ІНТЕГРАЦІЯ ТЕЛЕМАТИКИ, ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ТА АНАЛІТИКИ У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ АГРАРНОГО СЕКТОРУ

*Дослідження присвячене інтеграції телематики, інтернету речей та аналітики у транспортні системи аграрного сектору. Запропонована методика забезпечує оптимізацію маршрутів, простежуваність вантажів та відповідність міжнародним стандартам управління якістю. Результати апробації підтверджують зниження витрат і підвищення точності доставки зернових культур.*

***Ключові слова:*** *аграрна логістика; телематика; інтернет речей; цифрова трансформація; оптимізація маршрутів; стандарти управління якістю; транспортні системи.*

*The study focuses on the integration of telematics, Internet of Things (IoT), and analytical tools into transport systems of the agricultural sector. The proposed methodology ensures route optimization, cargo traceability, and compliance with quality management standards. Pilot testing confirmed reduced costs and improved delivery accuracy of grain crops.*

***Key words:*** *agricultural logistics; telematics; IoT; digital transformation; route optimization; quality management standards; transport systems.*

Раціоналізація аграрних перевезень є ключовим завданням сучасної транспортної інженерії в умовах цифрової трансформації та зростаючих вимог до якості й простежуваності [1]. Зернові культури як стратегічний ресурс потребують ефективної доставки та інтеграції інформаційних технологій для контролю й оптимізації [2]. Традиційні моделі управління, що базуються на фрагментарних рішеннях, не забезпечують гнучкості та відповідності міжнародним стандартам (ISO 22000, ДСТУ ISO 9001). Необхідна інтегрована логістично-інформаційна система, яка поєднує фізичні, цифрові та аналітичні компоненти. Її основою є телематика, IoT, ERP та аналітичні платформи для прогнозування ризиків, оптимізації маршрутів і підтримки рішень на основі показників ефективності (KPI) [3].

Сучасні дослідження аграрної логістики демонструють чотири ключові напрями розвитку інтегрованих транспортних систем [4, 5]:

1. Цифрова логістика та оптимізація маршрутів – застосування VRP/TSP та багатокритеріальних моделей для зниження витрат і врахування екологічних аспектів; недоліки – відсутність інтеграції з телематикою та IoT, слабке сценарне моделювання ризиків.

2. Аналітичне моделювання та KPI – використання Big Data, прогнозування попиту, KPI як база для управлінських рішень; недоліки – обмежена практична реалізація у транспортних процесах та слабка відповідність ISO/ДСТУ.

3. Інтеграція ERP, IoT та телематики – забезпечення простежуваності, моніторингу транспорту й автоматизації документообігу; недоліки – відсутність формалізованого алгоритму синтезу та недостатня деталізація архітектури транспортної логістики.

4. Відповідність ISO/ДСТУ – стандарти гарантують сертифікацію, простежуваність і управління ризиками; недоліки – відсутність цифрової інтеграції та потреба адаптації до специфіки аграрних перевезень.

Наявні дослідження охоплюють окремі аспекти (оптимізація, аналітика, цифрова інтеграція, стандарти), проте не забезпечують комплексного поєднання. Це визначає мету – розробку методики інтеграції телематики, інтернету речей та аналітики у транспортні системи аграрного сектору для забезпечення оптимізації маршрутів, простежуваності вантажів та відповідності міжнародним стандартам управління якістю [6].

Методика інтеграції телематики, інтернету речей та аналітики у транспортні системи аграрного сектору передбачає поетапне формування логістичної, інформаційної та аналітичної

складових, орієнтованих на підвищення ефективності транспортування зерна (таблиця 1).

Таблиця 1 – Етапи комплексної інтеграції

| Етап | Зміст |
|---|---|
| 1. Аналіз середовища | Вивчення логістичних маршрутів, сезонності, типів зерновозів, стану інфраструктури. |
| 2. Визначення функціональних вимог | Включає телематику, моніторинг CAN-шини, датчики температури/вологості, ERP-інтеграцію. |
| 3. Вибір архітектури системи | Хмарна платформа + IoT-модулі + аналітичний блок (Big Data, AI). |
| 4. Сценарне моделювання | Побудова моделей доставки з урахуванням ризиків, погодних умов, аварійності. |
| 5. Аналітична оптимізація | Використання математичних моделей витрат, функцій якості та багатокритеріальних алгоритмів для пошуку оптимальних рішень. |
| 6. Розробка KPI-системи | Наприклад: точність доставки, витрати на паливо, кількість простоїв, збереження якості зерна. |
| 7. Верифікація та тестування | Пілотні маршрути, порівняння з базовими сценаріями, адаптація під регіональні умови. |

Інтегрована логістично-інформаційна система (ІЛІС) розглядається як інструмент, здатний забезпечити адаптивність транспортних процесів до змін зовнішнього середовища, масштабованість у межах аграрних кластерів та відповідність міжнародним стандартам управління якістю й безпечністю. Її практичне впровадження сприяє зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню точності доставки та мінімізації втрат якості зернових культур, що має стратегічне значення для продовольчої безпеки та конкурентоспроможності аграрного сектору України. Запропонована ІЛІС функціонує як багаторівнева архітектура (рис. 1), яка інтегрує фізичні, інформаційні та аналітичні компоненти в єдину керовану структуру. Такий підхід забезпечує системну інтеграцію управління, підвищує адаптивність до динамічних умов та гарантує відповідність міжнародним стандартам.

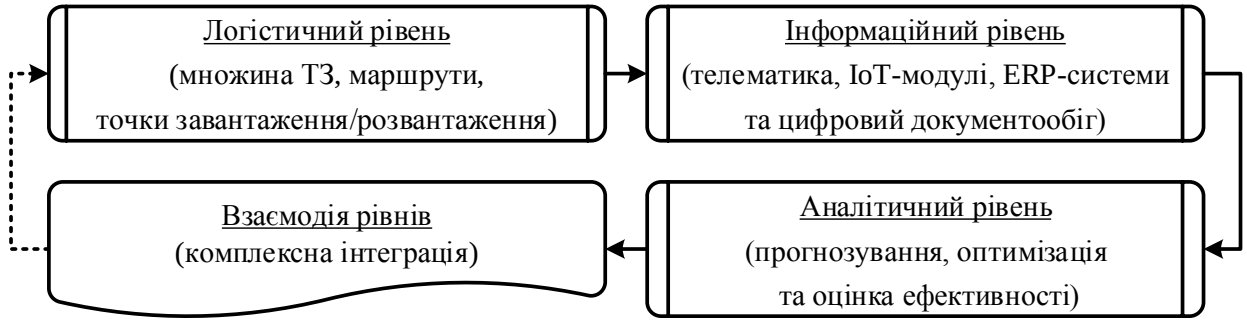



Рисунок 1 – Структурна схема інтегрованої системи доставки зернових культур

Алгоритм інтеграції включає:

1. Формалізацію об’єкта дослідження, яка здійснюється через визначення:

– множини ТЗ (зерновозів), що беруть участь у перевезеннях: $T = \{t_1, t_2, \text{K}, t_n\}$;

– множини логістичних маршрутів між логістичними точками: $R = \{r_1, r_2, \text{K}, r_m\}$;

– множини логістичних точок (елеватори, склади, перевантажувальні пункти): $P = \{p_1, p_2, \text{K}, p_k\}$.

2. Збір та агрегування даних для забезпечення комплексності управління процесом:

– дані GPS-моніторингу для ТЗ *t* (координати, швидкість, маршрут) $D_{GPS}(t)$;

– дані з CAN-шини: технічні параметри ТЗ (температура, оберти, витрати пального) $D_{CAN}(t)$;

– дані про навколишнє середовище (температура, вологість, погодні умови) $D_{env}(t)$;

– дані з ERP-системи (замовлення, графіки, документообіг, статуси перевезень) $D_{ERP} = \{d_1, d_2, \text{K}, d_q\}$.

3. Побудову логістичної моделі на основі зібраної інформації, яка враховує економічні та якісні показники:

– загальні витрати на маршрут

$$C(r_i) = \sum_{j=1}^{k} \left[ c_{fuel}(r_i, t_j) + c_{time}(r_i, t_j) + c_{risk}(r_i, t_j) \right], \quad (1)$$

де $c_{fuel}(r_i, t_j)$ – витрати на пальне для маршруту $r_i$ транспортом $t_j$;

$c_{time}(r_i, t_j)$ – вартість часу перевезення (враховуючи затримки, простої);

$c_{risk}(r_i, t_j)$ – оцінка ризиків (аварійність, погодні умови, технічні несправності);

– контроль якості зерна

$$Q(t) = f(D_{env}(t)), \quad Q(t) \geq Q_{\min}, \quad (2)$$

де $Q(t)$ – якість зерна після перевезення транспортом *t*, як функція від $D_{env}(t)$;

$Q_{\min}$ – мінімально допустиме значення якості.

4. Сценарне моделювання, яке дозволяє враховувати багатофакторний вплив середовища та забезпечує гнучкість управлінських рішень у транспортних процесах:

– множина сценаріїв, які моделюють різні умови функціонування системи (сезонні, погодні, технічні, організаційні) $S = \{s_1, s_2, \text{K}, s_l\}$, де $s_i$ – окремий сценарій, що описує конкретну комбінацію факторів (наприклад, перевезення у дощову погоду чи під час пікового навантаження);

– оцінка ризиків [7, 8]

$$Risk(s_i) = \sum_{j=1}^{n} \left[ \rho_j \cdot P_j(s_i) \right], \quad (3)$$

де $Risk(s_i)$ – інтегральна оцінка ризику для сценарію $s_i$;

$\rho_j$ – ваговий коефіцієнт для *j*-го фактора ризику (наприклад, погодні умови, технічні несправності, організаційні затримки);

$P_j(s_i)$ – ймовірність виникнення *j*-го ризику у сценарії $s_i$;

*n* – кількість врахованих факторів ризику.

5. Аналітичну оптимізацію, яка забезпечує можливість прийняття управлінських рішень на основі даних, що підвищує точність планування та знижує експлуатаційні витрати [9]:

– цільова функція

$$\min_{r_i \in R} \left[ C(r_i) - \lambda \cdot Q(t) \right], \quad (4)$$

де $C(r_i)$ – загальні витрати на виконання маршруту $r_i$ (включають паливо, технічне обслуговування, простої, втрати якості);

$\lambda$ – коефіцієнт ваги, що визначає значущість якості у цільовій функції;

– обмеження

$$\sum_{t_j \in T} L\left(t_j\right) \le Cap\left(r_i\right), \quad (5)$$

де $L\left(t_j\right)$ – навантаження на транспортний засіб $t_j$;

$Cap\left(r_i\right)$ – пропускна здатність маршруту $r_i$, що визначає максимально допустиме навантаження.

6. Оцінювання ефективності (KPI), що інтегрується з системою аналітичної оптимізації з метою визначення:

– точності доставки, що визначається як відсоток виконаних перевезень у межах визначених часових вікон

$$Ac = \frac{DoT}{TD} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де $DoT$ – кількість доставок, виконаних у визначений час;

$TD$ – загальна кількість доставок;

– втрати якості зерна під час транспортування

$$\Delta Q = Q_{in} - Q_{fin}, \quad (7)$$

де $Q_{in}$ – початковий рівень якості зерна (перед транспортуванням);

$Q_{fin}$ – рівень якості після транспортування;

– економічної ефективності

$$Eff = \frac{TCV}{TC}, \quad (8)$$

де $TCV$ – загальна вартість перевезеного зерна;

$TC$ – сукупні витрати на транспортування.

7. Верифікацію та адаптацію з метою порівняння базового та інтегрованого сценарію функціонування системи:

$$\Delta C_s = C_{base} - C_{integr}, \quad \Delta Q_s = Q_{integr} - Q_{base}, \quad (9)$$

де $C_{base}$ – витрати у базовому сценарії (традиційна логістична модель без інтеграції інформаційних та аналітичних компонентів);

$C_{integr}$ – витрати у інтегрованому сценарії (з використанням запропонованої системи);

$\Delta C_s$ – різниця витрат між базовим та інтегрованим сценаріями;

$Q_{base}$ – рівень якості зерна у базовому сценарії;

$Q_{integr}$ – рівень якості зерна у інтегрованому сценарії;

$\Delta Q$ – приріст якості завдяки інтегрованій системі.

Методика тестувалася у кількох типових сценаріях:

– сезонні перевезення під час збору врожаю;

– транспортування у складних погодних умовах (підвищена вологість, низькі температури);

– організація доставки у багаторівневій інфраструктурі (автомобільний транспорт, залізниця, портові термінали).

Результати пілотних сценаріїв:

– зниження витрат (у середньому на 12–15 % завдяки оптимізації маршрутів та скороченню простоїв);

– підвищення точності доставки (виконання у визначені часові вікна з точністю понад 90 %);

– зменшення втрат якості зерна (контроль температури та вологості дозволив знизити втрати на 8–10 % порівняно з ТЗ без цифрових систем моніторингу);

– відповідність стандартам (система забезпечила простежуваність та документованість процесів відповідно до ISO 22000 та ДСТУ ISO 9001).

**Список використаних джерел**

1. Кашканов А.А., Буряк В.В. (2024). Проблемні питання організаційно-технічного розвитку перевезень зернових культур автомобільним транспортом в Україні. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 1(22), 163-169. https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1357.

2. Кашканов А.А., Буряк В.В. (2025). Управління ефективністю перевезення зернових культур автомобільним транспортом на основі критеріального підходу. *Автошляховик України*. 1, 56-62. https://doi.org/10.33868/0365-8392-2025-1-282-56-62.

3. Woźniakowski T, Jałowiecki P, Zmarzłowski K. (2018) .ERP systems and warehouse management by WMS. *Information System in Management*. 7(2). 141-51. https://doi.org/10.22630/ISIM.2018.7.2.13.

4. Hussein J. B., Workneh T. S., Kassim A., Ntsowe K., Melesse S. F., El-Mesery H. S. (2025). A review on the impact of big data analytics in transforming agricultural practices, food processing, and preservation strategies. *Applied Food Research*, 5(2), 101234. https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101234.

5. Буряк В. В., Кашканов, А. А. (2025). Методика синтезу інтегрованої логістично-інформаційної системи доставки зернових культур в умовах цифрової трансформації. *Вісник машинобудування та транспорту*, 22(2), 16–25. https://doi.org/10.31649/2413-4503-2025-22-2-16-25.

6. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 22000:2018 – Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain*. Geneva: ISO. https://www.iso.org/standard/65464.html.

7. Kashkanova A. (2025). Methods for assessing the risk of accidents in the driver-vehicle-road-environment system. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. vol. 109, no 3, 41-61. https://doi.org/10.14669/AM/207102.

8. Кашканов А.А., Буряк В.В., Москалюк М.Л. (2023). Аспекти логістичного забезпечення виробничих процесів підприємств автомобільного транспорту України. *Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць*. Вінниця: ВНТУ., С. 154-156. https://atm.vntu.edu.ua/konf/Zbirnyk_STPR_AT_2023.pdf.

***Буряк Валерій Володимирович*** – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, e-mail: btr.vl@i.ua

***Кашканов Андрій Альбертович*** – д.т.н., професор, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Україна, 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

***Andrii Kashkanov*** – Doctor of Technical Science, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

УДК 629.113.004:658.562

**Варчук В.В., Тодоренко Д.В.**

# ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕРЕЖІ «BOSCH CAR SERVICE» В УКРАЇНІ

*У тезі досліджено особливості організації технічного обслуговування автомобілів у мережі «Bosch Car Service» в Україні. Проаналізовано принципи стандартизації процесів діагностування та ремонту, застосування сертифікованого обладнання та оригінальних компонентів, а також вплив регламентного технічного обслуговування на показники довговічності та безпеки транспортних засобів.*

***Ключові слова:*** *технічне обслуговування, автомобільна діагностика, стандартизація сервісу, безпека руху, надійність автомобіля, система якості*

*The thesis examines the specific features of organizing vehicle maintenance within the Bosch Car Service network in Ukraine. The principles of standardization of diagnostic and repair processes, the use of certified equipment and original components, as well as the impact of scheduled maintenance on the durability and safety performance of vehicles are analyzed.*

***Keywords:*** *technical maintenance, automotive diagnostics, service standardization, road safety, vehicle reliability, quality management system.*

Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту характеризуються зростанням складності конструкції транспортних засобів, широким впровадженням електронних систем керування та інтеграцією цифрових технологій у всі функціональні вузли автомобіля. У таких умовах технічне обслуговування перестає бути суто механічним процесом і трансформується у комплексну інженерну діяльність, що передбачає використання спеціалізованого діагностичного обладнання, програмного забезпечення та стандартизованих процедур контролю технічного стану.

Мережа «Bosch Car Service» є прикладом глобалізованої моделі організації сервісного обслуговування автомобілів, яка поєднує єдині корпоративні стандарти з автономністю незалежних станцій технічного обслуговування. Концепція мережі базується на принципі мультибрендовості, що дозволяє здійснювати обслуговування автомобілів різних виробників без втрати якості та відповідності технічним регламентам. Карту розташування сервісних центрів представлена на рис. 1 [1].




Рисунок 1 – Розташування сервісних центрів в Україні

Організаційна структура сервісу передбачає стандартизацію технологічних процесів, регламентацію процедур діагностування та ремонту, а також систематичне підвищення кваліфікації персоналу. Важливим елементом є використання діагностичних систем власного виробництва компанії «Robert Bosch GmbH», що забезпечують доступ до електронних блоків керування сучасних автомобілів, зчитування кодів помилок та аналіз параметрів роботи систем у реальному часі. Це дозволяє мінімізувати ймовірність діагностичних похибок та підвищити точність визначення несправностей [2-3].

Технічне обслуговування в межах даної мережі передбачає проведення регламентних операцій відповідно до рекомендацій виробників транспортних засобів. Заміна мастильних матеріалів, фільтрів, елементів гальмівної системи, перевірка стану підвіски, системи керування та електрообладнання здійснюються із застосуванням сертифікованих компонентів, що відповідають міжнародним стандартам якості. Використання оригінальних або еквівалентних за якістю запасних частин сприяє збереженню технічних характеристик автомобіля та продовженню ресурсу його основних агрегатів [4].

Функціонування мережі «Bosch Car Service» демонструє ефективність поєднання глобальних стандартів, сучасних технологій діагностування та локальної організації сервісних процесів. Науково обґрунтована система технічного обслуговування, заснована на стандартизації, використанні сертифікованого обладнання та безперервному професійному розвитку персоналу, забезпечує підвищення надійності, довговічності та безпеки автомобілів. Це дозволяє розглядати діяльність мережі як приклад сучасної моделі організації сервісної інфраструктури автомобільного транспорту [5].

**Список використаних джерел**

1. Robert Bosch GmbH. Bosch Car Service: About us. URL: https://www.boschcarservice.com (дата звернення: 19.02.2026).
2. Robert Bosch GmbH. Car servicing at Bosch Car Service. URL: https://www.boschcarservice.com/xc/en/services/car-servicing/ (дата звернення: 19.02.2026).
3. Bosch Automotive Aftermarket. Diagnostic solutions for URL: https://www.boschaftermarket.com (дата звернення: 19.02.2026).
4. International Organization for Standardization. ISO 9000 family – Quality management. URL: https://www.iso.org/iso-9001-quality-management.html (дата звернення: 19.02.2026).
5. Бош Авто Сервіс Україна. Офіційний сайт. URL: https://www.boschcarservice.com/ua/uk (дата звернення: 19.02.2026).

***Варчук Вячеслав Володимирович –*** асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

***Тодоренко Дмитро Віталійович*** — студент групи 1ТТ-23б, факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету.

***Viacheslav V. Varchuk*** – Assistant *of* the Department of Automobiles and Transport Management, of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

***Todorenko Dmytro*** – student of group 1TT-23b, of faculty of mechanical engineering and transport, of Vinnytsia National Technical University.

УДК 629.113.004:338.46(477)

**Варчук В.В., Тодоренко Д.В.**

# ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОСЕРВІСНОЇ ГАЛУЗІ В УКРАЇНІ

*У роботі розглянуто сучасний стан, основні проблеми та перспективи розвитку автосервісної галузі в Україні. Проаналізовано вплив цифровізації, інноваційних технологій, кадрового забезпечення та екологічних вимог на ефективність функціонування підприємств автосервісу.*

***Ключові слова:*** *автосервіс, технічне обслуговування, діагностика, цифровізація, якість послуг, екологічна безпека.*

*The paper examines the current state, key challenges, and prospects for the development of the automotive service industry in Ukraine. The impact of digitalization, innovative technologies, workforce capacity, and environmental requirements on the operational efficiency of automotive service enterprises is analyzed.*

***Keywords:*** *automotive service, technical maintenance, diagnostics, digitalization, service quality, environmental safety.*

В умовах зростання автомобілізації населення, оновлення автопарку та активного впровадження новітніх технологій питання розвитку автосервісної сфери в Україні набуває особливої актуальності. Разом із тим галузь стикається з низкою системних проблем, що потребують комплексного аналізу та стратегічних рішень.

Немаловажливим буде врахування попиту на ті чи інші послуги при обслуговувані автомобілів, для забезпечення комфорту надання послуги. У 2024 році в сервісних центрах МВС зареєстрували майже на 40% більше електромобілів, ніж роком раніше. Це свідчить не тільки про зацікавленість серед автовласників у більш екологічному транспорті, а й про необхідність розвитку відповідної інфраструктури [1].

Важливою проблемою є кадрове забезпечення галузі. Спостерігається дефіцит висококваліфікованих фахівців, здатних працювати з сучасними автомобільними технологіями. Причинами цього є недостатній рівень практичної підготовки у закладах професійної та вищої освіти, міграція спеціалістів за кордон, а також низький престиж робітничих професій. Водночас швидкий розвиток електромобільності та цифрових систем управління транспортом потребує постійного підвищення кваліфікації персоналу, впровадження програм перепідготовки та сертифікації.

Ще одним викликом є тінізація частини ринку автосервісних послуг. Нелегальні або напівлегальні майстерні часто надають послуги без дотримання встановлених стандартів якості та екологічної безпеки, що створює нерівні умови конкуренції та негативно впливає на безпеку експлуатації транспортних засобів. Відсутність належного контролю за утилізацією відпрацьованих мастил, акумуляторів та інших небезпечних відходів погіршує екологічну ситуацію.

Суттєвою проблемою також є низький рівень цифровізації бізнес-процесів на багатьох автосервісних підприємствах. Недостатнє використання сучасних CRM-систем, електронного обліку запасних частин, онлайн-запису клієнтів та аналітичних інструментів знижує ефективність управління, ускладнює контроль витрат і якість обслуговування. У сучасних умовах клієнтоорієнтованість та швидкість обробки замовлень стають важливими конкурентними перевагами [2].

Водночас автосервісна галузь України має значний потенціал для розвитку. Однією з перспектив є інтеграція сучасних цифрових технологій у процеси технічного обслуговування та ремонту. Використання комп'ютерної діагностики, хмарних сервісів для зберігання технічної інформації, систем дистанційного моніторингу стану автомобілів дозволяє підвищити точність виявлення несправностей та скоротити час ремонту. Автоматизація складських процесів

і впровадження систем управління якістю сприяють оптимізації витрат і підвищенню прозорості діяльності підприємства.

Перспективним напрямом є розвиток спеціалізованих сервісів для електромобілів та гібридних автомобілів. З огляду на поступове зростання частки електротранспорту в Україні, з'являється потреба у створенні мережі СТО, оснащених відповідним обладнанням для обслуговування високовольтних систем, акумуляторних батарей та електродвигунів. Це відкриває нові можливості для підприємців та стимулює впровадження інноваційних технологій [3].

Важливим напрямом розвитку є підвищення рівня професійної підготовки кадрів. Співпраця автосервісних підприємств із закладами освіти, створення навчально-практичних центрів, впровадження дуальної освіти та системи безперервного професійного розвитку сприятимуть формуванню конкурентоспроможних спеціалістів. Запровадження міжнародних стандартів сертифікації персоналу дозволить підвищити довіру споживачів та інтегрувати українські підприємства у світовий ринок послуг.

Не менш важливим є екологічний аспект розвитку галузі. Впровадження екологічно безпечних технологій утилізації відходів, використання енергоефективного обладнання, дотримання стандартів екологічного менеджменту сприятимуть зменшенню негативного впливу на довкілля. Перехід до принципів «зеленого автосервісу» відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку та підвищує імідж підприємства [4].

Отже, автосервісна галузь України перебуває на етапі трансформації, що супроводжується як значними викликами, так і новими можливостями. Подолання проблем матеріально-технічного забезпечення, кадрового дефіциту, тінізації ринку та низької цифровізації потребує комплексного підходу за участю держави, бізнесу та освітніх установ.

**Список використаних джерел**

1. Дідур В. В., В'юник О. В., Комар А. С. Діагностування – важливий резерв економії витрат на технічне обслуговування і ремонт автомобілів // Науковий вісник Таврійський державний агротехнологічний університет. 2023. Т. 12, № 2. DOI: https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v12i2.309.
2. Митко М. В., Савін Ю. Х. Дослідження доцільності виконання постових робіт з обслуговування та ремонту автомобілів в таксомоторних підприємствах // Вісник Вінницький політехнічний інститут. 2024. № 2 (173). С. 87–93. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-173-2-87-93.
3. Митко М. В. Удосконалення структури виробничих підрозділів з обслуговування та ремонту автомобілів // Вісник Вінницький політехнічний інститут. 2018. № 6 (141). С. 104–110. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-141-6-104-110.
4. Агапов О. М. Мобільний автосервіс в Україні // Тези доповідей 31-ї Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2023. Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2023.

***Варчук Вячеслав Володимирович*** **–** асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

***Тодоренко Дмитро Віталійович*** — студент групи 1ТТ-23б, факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету.

***Viacheslav V. Varchuk*** – Assistant *of* the Department of Automobiles and Transport Management, of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

***Todorenko Dmytro*** – student of group 1TT-23b, of faculty of mechanical engineering and transport, of Vinnytsia National Technical University.

УДК 629. 3.015

**Вербицький В.Г., Кравченко О.П., Хребет В.Г., Колодницька Р.В.**

# ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ БІФУРКАЦІЙ ПРИ АНАЛІЗІ АВТОКОЛИВАНЬ У ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНИХ АСОБІВ

*Робота присвячена розгляду результатів теоретичних досліджень використання елементів теорії біфуркацій на прикладі аналізу автоколивань у динамічних системах транспортних засобів.*

***Ключові слова:*** *динамічні системи, автоколивання, біфуркаційний підхід, гармонійний баланс, амплітудна діаграма.*

*The work is devoted to the consideration of the results of theoretical studies of the use of elements of bifurcation theory on the example of the analysis of self-oscillations in dynamic systems of vehicles.*

***Key words:*** *dynamic systems, self-oscillations, bifurcation approach, harmonic balance, amplitude diagram.*

**Вступ.** Автоколивання виникають у нелінійних системах як стабільні періодичні процеси, що зберігають свою амплітуду та форму хвилі незалежно від початкових умов. Класичні підходи їх аналізу базуються на застосуванні методу малого параметру та його модифікацій – методів множинних масштабів [1], що накладає певні обмеження на тип нелінійних характеристик системи. Так цей метод активно використовувався для аналізу коливань шасі літаків [2, 3], результати також були застосовані при дослідженні стійкості моделей колісних транспортних засобів з шарнірною рамою [4, 5] та перевернутих маятникових систем [6-8]. Глобальна картина біфуркаційних перебудов у системі передбачає використання спеціалізованих пакетів прикладних програм [9-10].

У даній роботі запропоновано новий підхід, який дозволяє наближено аналізувати автоколивання в певному класі динамічних систем без необхідності лінеаризації або спрощення нелінійних характеристик за допомогою рядів Тейлора. Метод базується на модифікованій техніці гармонійного балансу [11], що включає елементи біфуркаційного аналізу, і дозволяє:

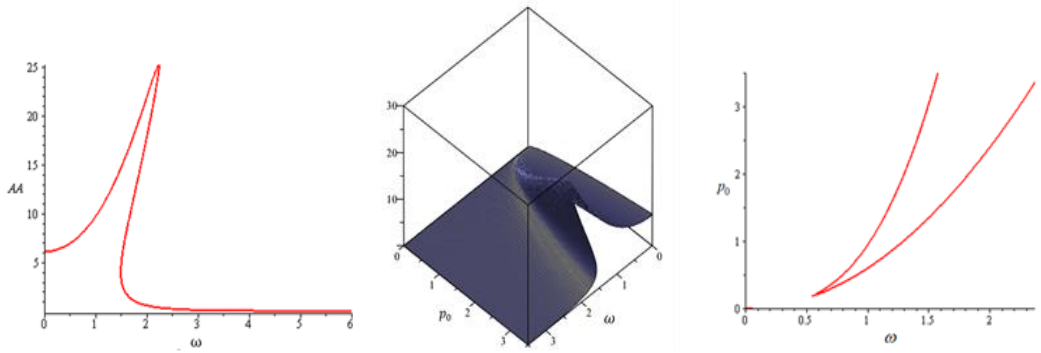
- визначити умови виникнення автоколивань поблизу стаціонарних точок;
- проаналізувати множинність усталених коливальних режимів та передбачити стійкість граничних циклів;
- визначити критичні значення параметрів, що відповідають біфуркаціям Хопфа.

Підхід застосовано до класичної модельної задачі – рівняння Дюффінга з кубічною жорсткістю та гармонійним зовнішнім збудженням, а також до складнішого випадку перевернутого подвійного маятника дії слідкуючої (циркуляційної) сили. Таке поєднання не тільки дозволяє отримати аналітичні співвідношення для амплітуд та частот автоколивань, але й визначити характер втрати стійкості (м'яка чи жорстка) та структуру мультистабільності системи, що є важливим для практичних інженерних застосувань.

**Основна частина.** Розглядаючи рівняння Дюффінга модифікованим методом гармонійного балансу отримані результати, які демонструють дві різні форми стабільних автоколивань в області параметрів, де існують три розв'язки (рис. 1).

**Метод аналізу втрати стійкості вертикальної рівноваги пружної опори.** Застосування наближеного методу аналізу автоколивань розглянуто на прикладі задачі втрати стійкості вертикальної рівноваги моделі пружної опори (рис. 1), на якій позначено l1, l2 – довжини ланок, які умовно вважаються безмасовими; маси матеріальних точок A1(x1, y1), A2(x2, y2) позначено через m1, m2 відповідно. Як узагальнені (лагранжеві) координати відхилення ланок маятника від вертикалі зручно взяти кути φ1, φ2. Декартові координати x1, y1, x2, y2 є надлишковими. Вважаємо, що пружний елемент у вузлі A2 має м'яку нелінійну характеристику

(має характер кривої насичення). Крутні моменти у вузлах О та А1 моделюються як лінійні функції.



а б в

Рисунок 1 – Результати модифікованого методу гармонійного балансу: а - діаграма амплітуди – частоти; б - поверхні катастроф; в - критичний набір параметрів (набір біфуркацій)

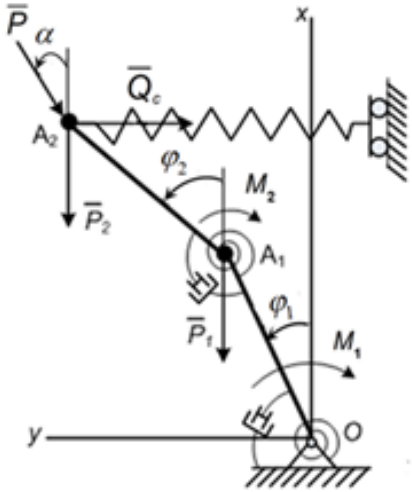



Рисунок 2 – Схема пружної опори

Розглядаючи рух в кутових координатах отримано амплітудну криву (суцільна лінія – рис. 3), яка визначається нелінійним амплітудним рівнянням.

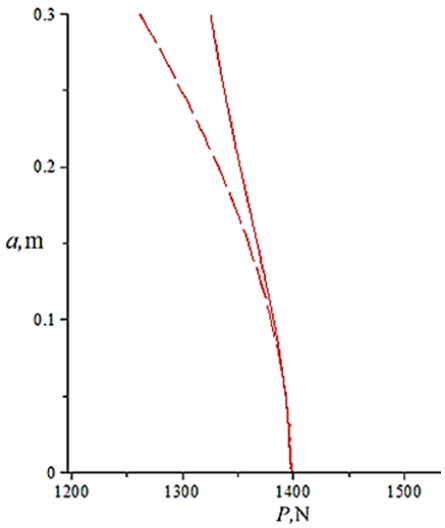
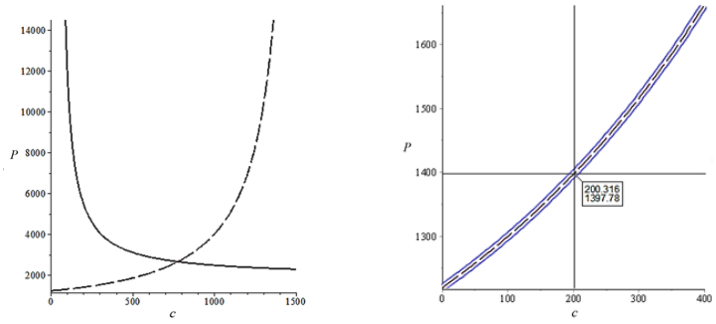



Рисунок 3 – Амплітудна крива, що визначає амплітуду нестійкого граничного циклу

Отриманий результат відповідає небезпечній втраті стійкості вертикального положення рівноваги перевернутого подвійного маятника, коли досягається критичне значення слідкуючої сили. Суцільна крива відповідає представленню відновлювальної сили, тоді як пунктирна крива представляє її наближення як суму перших двох ненульових членів ряду Тейлора цієї функції.

При числових значеннях параметрів системи: m1=10 кг; m2=5 кг; l1=0,5 м; l2=0,5 м; c1=400 Н/м; c2=400 Н/м; μ1=10 Н/с; μ2=10 Н/с; c=200 Н/м; b=50; α=0, на основі лінеаризованої системи (з використанням критерію Рауса-Гурвіца) визначено критичну силу Pcr = 1397 Н (рис. 4а), перевищення якої призводить до коливальної втрати стійкості вертикального положення рівноваги системи. Цей результат узгоджується з висновками, наведеними на рис. 4б.




а б

Рисунок 4 – Границя області стійкості системи в площині параметрів: а - повна картина границі стійкості (суцільна лінія – межа дивергентної втрати стійкості; пунктирна лінія – межа коливальної нестійкості); б - фрагмент границі флатерної (коливальної) стійкості

**Висновок.** Представлено алгоритм побудови амплітудної характеристики в аналітичній формі на основі модифікованого методу гармонічного балансу з використанням елементів біфуркаційного аналізу для нелінійних динамічних систем. Запропонований підхід дозволяє уникнути заміни вихідних нелінійних характеристик системи їх наближенням у вигляді рядів Тейлора. Чисельно побудована амплітудна крива дозволила дослідити умови існування усталених автоколивань та визначити критичні області параметрів. Особливу увагу було приділено аналізу природи втрати стійкості вертикального положення рівноваги моделі перевернутого подвійного маятника під дією слідкуючої (циркуляційної) сили. Встановлені умови, що визначають тип біфуркації:

- безпечна (м'яка) втрата стійкості – супроводжується виникненням стійкого граничного циклу, який обмежує зростання збурень;
- небезпечна (жорстка) втрата стійкості – відповідає стягненню нестійкого граничного циклу до положення рівноваги, руйнуючи його стійкість.

Таким чином, отримані результати не лише підтверджують якісні висновки класичної теорії автоколивань, але й розширюють можливість їх практичного застосування до складних багатопараметричних систем.

**Список використаних джерел**

1. Nayfeh A. Perturbation Methods. Wiley-Interscience, New York, 1973. 437 p.
2. Lobas L. Wobble in wheels with n degrees of freedom and an inclined orientation axis. *Soviet International Applied Mechanics, 17(2),* 1981. P. 121–126.
3. Goncharenko V., Lobas L., Nikitina N. On a formulation of the problem of shimmy of orienting wheels. *Soviet International Applied Mechanics, 17(8),* 1981. P. 82–88.
4. Lobas L., Khrebet V. On the limit periodic motions of pendular two-link rolling systems. *Soviet International Applied Mechanics, 29(8),* 1993. P. 85–93.
5. Lobas L., Khrebet V. On the character of motion of pendular systems with rolling at the border of the stability region. *International Applied Mechanics, 35(8),* 1999. P. 101–107.

6. Lobas L., Boruk I. Stability regions of the two-link inverted mathematical pendulum in special force fields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Ukraine, (11),* 1999. P. 74–78.
7. Lobas V. Influence of nonlinear characteristics of elastic elements on bifurcations of equilibrium states of double pendulum with follower force. *International Applied Mechanics, 41(2),* 2005. P. 197–202.
8. Lobas L., Ichanskii V. Limit cycles of a double pendulum subject to a follower force. *International Applied Mechanics, 45(6),* 2009. P. 670–679.
9. Seydel R. A continuation algorithm with step control. In: Küpper, T., Mittelmann, H.D., Weber, H. (eds.) Numerical Methods for Bifurcation Problems. *ISNM, vol. 70. Birkhäuser, Basel,* 1984. P. 480–494.
10. Steindl A., Edelmann J., Plöchl M. Limit cycles at oversteer vehicle. *Nonlinear Dynamics,* 99, 2020. P. 313–321.
11. Pacejka H.B. The Wheel Shimmy Phenomenon: A Theoretical and Experimental Investigation with Particular Reference to the Non-linear Problem. *Doctoral Thesis, Delft University of Technology*, 1966. 268 p.

***Вербицький Володимир Григорович*** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки Державного університету «Житомирська політехніка» (10005, м. Житомир, вул.Чуднівська, 103, e-mail: oxsidan@ukr.net).

***Кравченко Олександр Петрович*** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: ap_kravchenko@vntu.edu.ua).

***Хребет Валерій Григорович*** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики факультету комп'ютерних наук та технологій Державного університету «Київський авіаційний інститут (03058, Київ, проспект Любомира Гузара, 1, e-mail: valerii.khrebet@npp.kai.edu.ua).

***Колодницька Руслана Віталіївна*** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки Державного університету «Житомирська політехніка» (10005, м. Житомир, вул.Чуднівська, 103, e-mail: ruslanakolod2017@gmail.com).

***Volodymyr Verbytskyy*** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering and Automobile Transport, Faculty of Computer-Integrated Technologies, Mechatronics and Robotics, Zhytomyr Polytechnic State University (10005, Zhytomyr, Chudnivska st, 103, e-mail: oxsidan@ukr.net).

***Oleksandr Kravchenko*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University ((21021, Vinnytsia, Khmelnytskyi Highway, 95, e-mail: ap_kravchenko@vntu.edu.ua).

***Valerii Khrebet*** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, Faculty of Computer Science and Technologies, Kyiv Aviation Institute State University (03058, Kyiv, Lubomyr Huzar av., 1, e-mail: valerii.khrebet@npp.kai.edu.ua).

***Ruslana Kolodnytska*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Automobile Transport, Faculty of Computer-Integrated Technologies, Mechatronics and Robotics, Zhytomyr Polytechnic State University (10005, Zhytomyr, Chudnivska st, 103, e-mail: oxsidan@ukr.net).

УДК 621.921

**Виноградов М.С., Мастепан М.А., Савенок Д.В.**

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ОБРОБЛЕНИХ СИЛІКАТНИМИ ХОНІНГУВАЛЬНИМИ БРУСКАМИ

*Дослідження зносостійкості поверхонь дозволить визначити експлуатаційні характеристики деталей автомобільних двигунів після обробки силікатними хонінгувальними брусками. За результатами відзначено, що поверхня, яка оброблена силікатними брусками володіє найкращими антифрикційними властивостями і має високу зносостійкість, що дозволить підвищити зносостійкість з'єднання «гільза – поршневе кільце» на 30%.*
***Ключові слова:*** *силікатний брусок, хонінгування, автомобільний двигун, експлуатаційні характеристики, антифрикційні властивості, зносостійкість, поверхня тертя.*

*Research into the wear resistance of surfaces will allow the operational characteristics of automotive engine parts to be determined after treatment with silicate honing bars. The results show that surfaces treated with silicate bars have the best anti-friction properties and high wear resistance, which will increase the wear resistance of the "liner-piston ring" connection by 30%.*
***Key words:*** *silicate bar, honing, automobile engine, performance characteristics, anti-friction properties, wear resistance, friction surface.*

Дослідження зносостійкості поверхонь, оброблених хонінгувальними брусками, є важливим аспектом вивчення експлуатаційних характеристик деталей автомобільних двигунів. Основною метою таких досліджень є оцінка якості поверхонь, довговічності деталей та їх здатності протистояти зношуванню під час роботи в умовах тертя. Таким чином, перед нами стоїть завдання в проведенні дослідження зносостійкості поверхонь гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння після хонінгування силікатними брусками.

Підвищення і забезпечення надійності засобів автомобільного транспорту є однією з найважливіших передумов їх ефективного використання. Основна властивість, яка характеризує надійність засобів автомобільного транспорту – довговічність, визначається показниками: термін служби і ресурс. На даний момент ряд двигунів автомобільного транспорту, що експлуатуються в різних умовах, мають недостатній термін служби, що призводить до величезних збитків. У зв'язку з цим пошук нових нестандартних технологічних рішень підвищення зносостійкості поверхонь деталей автомобільних двигунів, за рахунок покращення фізико-механічних властивостей робочих поверхонь є актуальною задачею [1].

Важлива роль у вирішенні завдань технологічного забезпечення зносостійкості поверхонь деталей автомобільних двигунів належить фінішним методам абразивно-алмазної обробки, одним з методів, яких є хонінгування. Хонінгування – це високоточна обробка поверхонь деталей за допомогою абразивного інструменту (хонінгувальної головки) для досягнення необхідної шорсткості, форми та розміру [1].

Як відомо, з'єднання «гільза – поршневе кільце» є одним із ключових вузлів автомобільного двигуна, яке забезпечує герметизацію циліндрів, відведення тепла і мінімізацію втрат мастила. Умови роботи цього з'єднання є складними та багатофакторними, оскільки на нього впливають механічні, термічні, хімічні та трибологічні навантаження. Одним з основних факторів, що впливає на роботу з'єднання є матеріл з якого виготовлені гільза та поршневе кільце. Тому для проведення дослідження в якості зразків обирали гільзи циліндрів автомобільного двигуна ЗМЗ-53, які виготовлені із сірого легованого чавуну ІЧГ-ЗЗМ твердістю НВ 217-250. Діаметр гільзи складав 92 мм, довжина поверхні, яку треба обробляти – 152 мм. Поршневе кільце виготовлена з високоякісного сірого чавуна СЧ 18-36 (НВ 167-224).

Перед тим як виконувати дослідження зносостійкості поверхонь необхідно було підготовити зразки та контрзразки.

Спочатку гільзи були розточені, а потім для усіх гільзи виконували чорнове хонінгування алмазними брусками на металополімерній зв'язці ВС12 зернистістю 125/100 (АБХ складала $R_a$=0,8 мкм. Після цього виконували чистове хонінгування алмазними брусками, які виготовлені на полімерній зв'язці В2-04 з мікропорошків синтетичного алмазу марки АСМ зернистістю 40/28 (АБХ 100×8×5, 40/28, В2-04), абразивними брусками на основі карбіду кремнію зеленого марки 63С зернистістю М40 (АБХ 100×8×7, КЗ-40)та силікатними брусками СБХ 100×8×7 з абразивом мікропорошку карбіду кремнію зеленого марки 63 С зернистістю М40 [2].

Наступний етап підготовки зразків та контрзразків полягав у виготовленні зразка з гільзи циліндрів у вигляді сектору завширшки 10 *мм* та контрзразка з високоякісного сірого чавуна СЧ 18-36 (НВ 167-224) у вигляді ролика з зовнішнім діаметром 92 *мм* і внутрішнім – 16 *мм*, завширшки 12 *мм*.

Хонінгування виконували на вертикальному одношпиндельному хонінгувальному верстаті моделі 3Г833 призначений для хонінгування отворів гільз і блоків автомобільних двигунів внутрішнього згоряння. Після обробки за допомогою профілографа-профілометра була виміряна шорсткість поверхні ($R_a$) та записані профілограми поверхонь, оброблених хонінгувальними брусками.

Після обробки силікатними брусками шорсткість поверхні гільзи циліндрів склала $R_a$ = 0,12 мкм, у той час як після обробки алмазними та абразивними брусками $R_a$ = 0,32 мкм і $R_a$ = 0,34 мкм, відповідно.

Випробування проводили на машині тертя 2070 СМТ-1. Після завершення випробування, яке тривало три години зразки промивали ацетоном. Зношування зразків (контрзразків) визначали ваговим методом. Зразки зважували до та після випробувань на аналітичних терезах типу Sartorius CPA 224S з точністю ± $1 \cdot 10^{-4}$ г (клас точності згідно ДСТУ EN 45501-I). Результати досліджень наведено на рис. 1.

Аналіз результатів досліджень показав, що стабілізація коефіцієнта тертя ($f_{mep}$) у зразків, які оброблені силікатними брусками, відбувається на 70-хвилині і відповідає значенню $f_{mep}$=0,067 (рис. 1, *а*). Стабілізація температури ($t$) в обсязі мастильного матеріалу під час роботи зразків оброблених силікатними брусками відбувається на 80-хвилині і відповідає значенню $t$ = 41°С (рис. 1, *б*). У порівнянні зі зразками, які оброблені алмазними брусками стабілізація коефіцієнта тертя ($f_{mp}$) відбувається на 100-хвилині ($f_{mep}$=0,072), а температури на 140-хвилині ($t$ = 48°С) і абразивними брусками стабілізація коефіцієнта тертя ($f_{mp}$) відбувається на 120-хвилині ($f_{mep}$=0,075) і температури на 140-хвилині ($t$ = 48°С) (рис. 1, *а, б*). Час роботи пари тертя від початку до часу початку стабілізації коефіцієнта тертя прийнято називати процесом припрацюванням. Таким чином, в результаті випробувань, можна стверджувати, що процес припрацювання поверхні, яка оброблена силікатними хонінгувальними брусками скорочується у порівнянні з поверхнями, які оброблені алмазними та абразивними брусками на 30–35 %.

Аналіз інтенсивності зношування зразків (контрзразків) ($I_g$) показав, що найменше значення спостерігається у пар, які оброблені силікатними брусками. Інтенсивність зношування зразків складає $I_g$ = 0,084 *мг/км·см*$^2$, а контрзразків – $I_g$ = 0,029 *мг/км·см*$^2$ (рис. 1, *в*). У порівнянні зі зразками (контрзразками), які оброблені алмазними брусками інтенсивність зношування зразків складає $I_g$ = 0,121 *мг/км·см*$^2$, а контрзразків – $I_g$ = 0,042 *мг/км·см*$^2$ (рис. 1, *в*). Інтенсивність зношування зразків, які оброблені абразивними брусками складає $I_g$ = 0,126 *мг/км·см*$^2$, а контрзразків – $I_g$ = 0,068 *мг/км·см*$^2$ (рис. 1, в). Таким чином можна відмітити, що у поверхні тертя, яка оброблена силікатними брусками інтенсивність зношування на 30 % менше ніж у пар, оброблених алмазними та абразивними брусками і це узгоджується з результатами роботи.

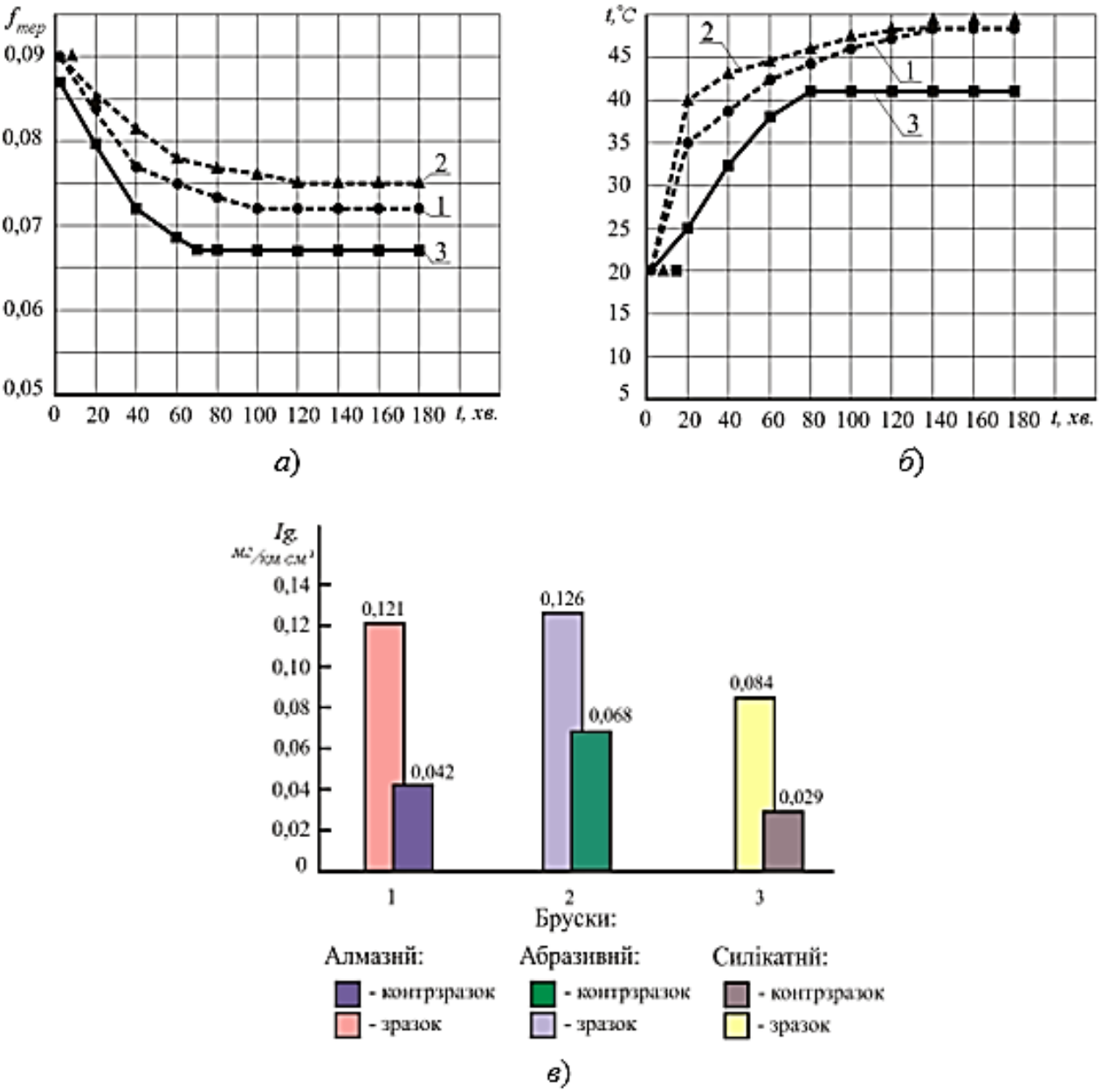



Рисунок 1 – Зміна коефіцієнта тертя (*а*), температури (*б*) та інтенсивності зношування (*в*) при роботі в оливі «М-8В» пари тертя сірий легований чавун ІЧГ-ЗЗМ (НВ 217-250) – високоякісний сірий чавун СЧ 18-36 (НВ 167-224) обробленої брусками: 1 – алмазними; 2 – абразивними; 3 – силікатними

Досягнення такого результату, на нашу думку, відбувається за рахунок час утворення поверхні близької до оптимальної, що зумовлює низькі коефіцієнт тертя, температуру і інтенсивність зношування у парі, яка була оброблена силікатними брусками. Крім цього, як було сказано раніше, поверхня після обробки силікатними брусками насичується оксидом кремнію, що сприяє зниженню коефіцієнту тертя [3].

Таким чином відзначаємо, що у поверхні тертя, яка оброблена силікатними брусками найкращі антифрикційні властивості у порівнянні з поверхнями тертя, які оброблені алмазними та абразивними брусками.

На підставі цього стверджуємо, що поверхня, яка оброблена силікатними брусками володіє найкращими антифрикційними властивостями і має високу зносостійкість, що дозволить підвищити зносостійкість з'єднання «гільза – поршневе кільце» на 30%.

**Список використаних джерел**

1. Виноградов М. С., Макарова Т. В., Мастепан М. А., Савенок Д. В. Дослідження впливу технологічних факторів хонінгування силікатними брусками на якість обробленої поверхні. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал*. – Луцьк: ЛНТУ, 2025. – №1(24). С. 147-156.

2. Виноградов М. С., Макарова Т. В., Мастепан М. А., Савенок Д. В. Дослідження впливу параметрів процесу хонінгування силікатними брусками на якість обробленої поверхні. *Вісник машинобудування та транспорту,* №1(19), 2024. С. 3-10.

3. Макаров В. А., Макарова Т. В., Виноградов М. С., Мастепан М. А., Савенок Д. В., Левадний О. В. «Удосконалення механізму притирання вільним абразивом за допомогою використання силікатного складу». *Вісник машинобудування та транспорту,* №2(18), 2023. С. 94-100.

***Виноградов Микола Семенович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомо-більного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, e-mail: nikolayx7m@gmail.com).

***Мастепан Микола Антонович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, e-mail: mastepanma@gmail.com).

***Савенок Дмитро Валерійович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу Луганського національного університету імені Тараса Шевченка (36003, м. Полтава, вул. Івана Банка, 3, e-mail: optimus_27@ukr.net).

***Vynogradov Mykola*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Department of Automotive Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska Street, 15, e-mail: nikolayx7m@gmail.com).

***Mastepan Mykola –*** Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Department of Automotive Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska Street, 15, e-mail: mastepanma@gmail.com).

***Savenok Dmytro*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Department of Vocational Education, Restaurant and Tourism Business, Luhansk Taras Shevchenko National University (36003, Poltava, Ivana Banka Street, 3, e-mail: optimus_27@ukr.net).

УДК 502.131.1:656

**Віштак І.В., Антонюк В.О.**

## «ЗЕЛЕНА» ЛОГІСТИКА ЯК СКЛАДОВА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

*У роботі розглядається сутність «зеленої» логістики як важливої складової сучасних транспортних систем. Висвітлено її основні принципи, що ґрунтуються на поєднанні економічних, соціальних та екологічних аспектів сталого розвитку. Проаналізовано значення впровадження ресурсозберігаючих технологій, оптимізації логістичних процесів і зниження негативного впливу на довкілля. Обґрунтовано роль зеленої логістики у підвищенні ефективності діяльності підприємств і забезпеченні екологічної безпеки.*

***Ключові слова:*** *зелена логістика, транспортні системи, сталий розвиток, екологізація, ресурсозбереження, логістичні процеси, ефективність, довкілля.*

*The paper examines the essence of «green» logistics as an important component of modern transport systems. Its main principles are highlighted, which are based on a combination of economic, social and environmental aspects of sustainable development. The importance of implementing resource-saving technologies, optimizing logistics processes and reducing negative environmental impact is analyzed. The role of green logistics in increasing the efficiency of enterprises and ensuring environmental safety is substantiated.*

***Keywords****: green logistics, transport systems, sustainable development, greening, resource conservation, logistics processes, efficiency, environment.*

В умовах глобалізації, стрімкого зростання обсягів перевезень і посилення антропогенного навантаження на природу питання екологізації транспортно-логістичних процесів набуває особливої актуальності. Транспортні системи традиційно є одними з найбільших джерел викидів парникових газів, забруднення повітря, шуму та споживання енергоресурсів, тому впровадження принципів зеленої логістики стає необхідною умовою сталого розвитку.

Концепція «зеленої» логістики, яка базується на принципах сталого розвитку, інтегрує економічні, соціальні та екологічні вимоги в єдину систему. Економічний аспект цієї концепції спрямований на вдосконалення логістичних процесів і підвищення їх результативності, забезпечуючи раціональне використання ресурсів і зниження витрат. Соціальна складова орієнтована на забезпечення безпеки та якості товарів для споживачів, що є важливою умовою довіри до продукції та компанії. Екологічний компонент передбачає зменшення шкідливого впливу логістичної діяльності на довкілля та сприяє покращенню екологічного стану [1, с. 170].

Досягнення балансу між цими елементами можливе завдяки впровадженню ресурсоефективних технологій, які забезпечують економію природних ресурсів, зменшують антропогенне навантаження на природу, підтримують стабільність фінансових показників і водночас гарантують високий рівень якості та безпеки продукції.

Окремо слід зазначити про активне використання електромобілів і гібридних автомобілів, які поєднують у собі економічність експлуатації та зменшений вплив на довкілля. Використання таких транспортних засобів дозволяє значно скоротити споживання традиційного пального, знизити рівень шкідливих викидів і водночас оптимізувати витрати на обслуговування. Особливо ефективними вони є в умовах міської логістики, де часті зупинки та короткі маршрути сприяють максимальному використанню їхніх переваг, зокрема рекуперації енергії та низького рівня шуму.

Паралельно із цим дедалі більшого значення набуває розвиток залізничного транспорту, який вважається одним із найбільш екологічно доцільних способів перевезення вантажів. Завдяки високій енергоефективності та можливості транспортування великих обсягів продукції одночасно, залізниця забезпечує суттєве зниження питомих викидів на одиницю вантажу. Це особливо актуально для перевезень на далекі відстані, де автомобільний транспорт є менш

ефективним як з економічної, так і з екологічної точки зору.

Крім того, важливу роль відіграє переорієнтація вантажопотоків із автомобільного транспорту на залізничний і водний. Такий підхід дозволяє не лише зменшити загальний рівень викидів парникових газів, але й знизити навантаження на дорожню інфраструктуру, скоротити кількість заторів і підвищити безпеку перевезень. Водний транспорт, зокрема морський і річковий, також характеризується високою енергоефективністю при транспортуванні масових вантажів, що робить його важливою складовою зеленої логістики.

Важливим напрямом розвитку є також інтермодальні перевезення, що передбачають поєднання різних видів транспорту в межах одного логістичного ланцюга. Такий підхід дає змогу обирати найбільш ефективний і екологічно доцільний вид транспорту для кожного етапу перевезення. Наприклад, вантаж може доставлятися залізницею на далекі відстані, а на завершальному етапі – екологічним міським транспортом. Це сприяє не лише зменшенню викидів, але й оптимізації витрат і підвищенню загальної ефективності логістичних процесів.

Ще одним важливим напрямом «зеленої» логістики є оптимізація транспортних процесів. Завдяки сучасним інформаційним системам і цифровим технологіям стає можливим більш точно планувати маршрути, уникати порожніх пробігів і зменшувати час доставки [2, с. 287].

Складовою «зеленої» логістики є також раціональне використання ресурсів. Це включає зменшення споживання пального, оптимізацію завантаження транспортних засобів і скорочення відходів. Наприклад, ефективне пакування товарів дозволяє збільшити кількість продукції, що перевозиться за один рейс, а це, у свою чергу, зменшує кількість перевезень і рівень забруднення. Крім того, важливу роль відіграє повторне використання та переробка пакувальних матеріалів.

В межах транспортних систем «зелена» логістика також передбачає розвиток міської мобільності. Логістичні компанії впроваджують концепції «останньої милі», використовуючи електровелосипеди, дрони або невеликі електромобілі для доставки товарів у центрі міст, що значно зменшує навантаження на міське середовище.

Не менш важливим є аспект екологічного менеджменту та нормативного регулювання. Держави та міжнародні організації встановлюють екологічні стандарти, які стимулюють підприємства впроваджувати «зелені технології». Це можуть бути обмеження на викиди, податкові пільги для екологічного транспорту або вимоги до енергоефективності. У результаті компанії змушені адаптувати свої логістичні стратегії, враховуючи екологічні критерії поряд із економічними [3].

«Зелена» логістика також має значний соціальний ефект. Зменшення рівня забруднення повітря та шуму позитивно впливає на здоров'я населення, підвищує якість життя та сприяє формуванню екологічної свідомості суспільства. Крім того, розвиток екологічних технологій створює

нові робочі місця та стимулює інновації.

Водночас впровадження «зеленої» логістики супроводжується низкою суттєвих викликів, які потребують комплексного підходу та значних зусиль як з боку бізнесу, так і держави. Насамперед це пов'язано з високими початковими інвестиціями, необхідними для переходу на екологічно чисті технології. Придбання електротранспорту, модернізація автопарку, впровадження енергоефективного обладнання та цифрових систем управління логістикою потребують значних фінансових ресурсів, що може бути стримуючим фактором, особливо для малих і середніх підприємств.

Ще одним важливим аспектом є необхідність оновлення та розвитку інфраструктури. Ефективне функціонування «зеленої» логістики неможливе без наявності відповідної мережі зарядних станцій для електромобілів, водневих заправок, сучасних логістичних центрів і транспортних вузлів. У багатьох регіонах така інфраструктура або відсутня, або перебуває на початковому етапі розвитку, що ускладнює широке впровадження екологічних рішень.

Крім того, обмежена доступність альтернативних видів пального також є серйозною перешкодою. Хоча інтерес до електроенергії, водню та біопалива зростає, їх виробництво,

зберігання та транспортування ще не досягли достатнього рівня масштабованості. Це призводить до вищої вартості таких ресурсів порівняно з традиційними видами пального, що, у свою чергу, впливає на загальні витрати підприємств.

Не менш важливим викликом є нерівномірний рівень технологічного розвитку в різних країнах і регіонах. У деяких із них відсутні необхідні інновації, кваліфіковані кадри або належна нормативно-правова база для підтримки «зеленої» трансформації логістики. Це створює додаткові труднощі для компаній, які прагнуть впроваджувати сучасні екологічні практики, але змушені працювати в умовах обмежених можливостей.

Водночас, незважаючи на всі зазначені труднощі, у довгостроковій перспективі впровадження «зеленої» логістики є економічно доцільним і стратегічно вигідним. Завдяки підвищенню енергоефективності, оптимізації транспортних процесів і скороченню витрат ресурсів підприємства можуть суттєво знизити свої операційні витрати. Крім того, зростає їхня конкурентоспроможність на ринку, оскільки споживачі та партнери дедалі більше віддають перевагу екологічно відповідальним компаніям. У підсумку, інвестиції в «зелену» логістику не лише сприяють збереженню довкілля, але й формують стійкі економічні переваги в майбутньому.

Отже, «зелена» логістика є невід'ємною складовою сучасних транспортних систем, яка забезпечує баланс між економічною ефективністю та екологічною безпекою. Її розвиток є важливим кроком на шляху до сталого розвитку, що передбачає гармонійне поєднання інтересів економіки, суспільства та довкілля. У майбутньому роль «зеленої» логістики лише зростатиме, оскільки світова спільнота дедалі більше усвідомлює необхідність збереження природних ресурсів і зменшення негативного впливу людської діяльності на планету.

**Список використаних джерел**

1. Скупейко В.В., Завальницька Н.Б., Струк Н.Р. «Зелена» логістика: понятійний апарат. *Scientific Bulletin of PUET: Economic Sciences 1(105) 2022*. 2022. № 1(105) 2022. URL: https://doi.org/10.37734/2409-6873-2022-1-21.

2. Дорош О.І Огерчук Ю.В Пліш Ю. Проблеми та перспективи розвитку зеленої логістики. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку*. 2024. Т. 2024, № 2. С. 286–295. URL: https://doi.org/10.23939/smeu2024.02.286.

3. Бондаренко О., Божко О. Стратегії зеленої логістики. *Підприємництво*. 2025. Т. 163, № 5. С. 127–143. URL: https://doi.org/10.31617/1.2025(163)08.

***Віштак Інна ВІкторівна*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3404, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua).

***Антонюк Валерія Олегівна*** – студентка 3-го курсу, факультету менеджменту та інформаційної безпеки Вінницького національного технічного університету (21021, м.Вінниця,Хмельницьке шосе 95, e-mail: leraantonuk1234@gmail.com).

***Vishtak Inna*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety and Safety Pedagogy of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Polytechnic Street, 7, room 3404, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua).

***Antonyuk Valeria*** – student of 3-d course, Faculty of Management and Information Security of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Khmelnytske Shosse 95, e-mail: leraantonuk1234@gmail.com).

УДК 378.147:004.9:656

**Віштак І.В., Михальчук А.О.**

# ГЕЙМІФІКАЦІЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

*Дослідження особливостей впровадження гейміфікації в освітній процес дозволить підвищити рівень професійної підготовки майбутніх фахівців автомобільного транспорту через використання ігрових механік та цифрових симуляцій. Застосування ігрових елементів у навчанні сприяє кращому засвоєнню алгоритмів технічного обслуговування, активізації пізнавальної діяльності та формуванню стійкої мотивації до майбутньої професійної діяльності в умовах цифровізації галузі.*

***Ключові слова:*** *гейміфікація, автомобільний транспорт, цифрові симуляції, мотивація, ігрові механіки, навчальні платформи, інтерактивне навчання.*

*The study of the features of gamification implementation in the educational process will allow increasing the level of professional training of future automotive transport specialists through the use of game mechanics and digital simulations. The use of game elements in teaching contributes to better mastery of maintenance algorithms, activation of cognitive activity, and the formation of stable motivation for future professional activities in the conditions of industry digitalization.*

***Key words:*** *gamification, automotive transport, digital simulations, motivation, game mechanics, educational platforms, interactive learning.*

Сучасний стан розвитку автомобільної галузі та постійне ускладнення конструкції транспортних засобів вимагають від вищої школи пошуку нових, ефективніших методів навчання, серед яких особливе місце посідає гейміфікація. Вона визначається як використання ігрових елементів та механік у неігровому контексті, що дозволяє значно підвищити рівень залученості та мотивації здобувачів освіти [1]. Традиційні підходи до викладання технічних дисциплін часто не забезпечують необхідного рівня зацікавленості студентів, що призводить до формального засвоєння знань, тоді як впровадження ігрових методів сприяє формуванню професійних компетентностей через активну взаємодію та занурення у квазіпрофесійну діяльність [2]. Гейміфікація не означає перетворення навчання на суцільну гру, а полягає у використанні таких елементів, як системи балів, рівні складності та лідерські таблиці для досягнення конкретних освітніх цілей [1]. У підготовці фахівців автомобільного транспорту це дозволяє створити динамічне середовище, де студент стає активним учасником процесу, а не пасивним слухачем, що відповідає запитам сучасного ринку праці.

Важливим аспектом є використання цифрових інструментів та симуляцій, які дозволяють майбутнім фахівцям відпрацьовувати навички діагностування та обслуговування транспортних засобів у безпечному віртуальному середовищі. Для майбутнього інженера або менеджера автомобільного транспорту важливо розуміти логіку складних процесів, і саме використання програмного забезпечення, що імітує роботу вузлів автомобіля, дозволяє студентам відпрацьовувати алгоритми пошуку несправностей без ризику пошкодження реального дорогого обладнання [3]. Такий підхід базується на математичних моделях об’єктів діагностування, де кожен крок студента оцінюється системою, що стимулює до пошуку оптимального рішення професійного завдання. Гейміфікація також забезпечує швидкий зворотний зв'язок, що є критично важливим для засвоєння складних технічних алгоритмів та правил дорожнього руху. Застосування гейміфікованих платформ дозволяє студенту відразу побачити наслідки прийнятого рішення, що значно скорочує час на засвоєння теоретичного матеріалу та сприяє його довгостроковому запам'ятовуванню [4].

Впровадження ігрових елементів сприяє формуванню професійної компетентності через

механізм «навчання через дію», що трансформує традиційну модель навчання у більш динамічну та орієнтовану на результат [2]. Інтеграція ігрових стратегій у підготовку транспортників дозволяє ефективно поєднувати теоретичні знання з практичним досвідом, розвиваючи критичне мислення та здатність до швидкого прийняття рішень (2). Використання елементів змагальності та систем винагород стимулює студентів до постійного самовдосконалення та глибшого вивчення фахових дисциплін поза межами обов'язкової програми. Ефективність гейміфікації підтверджується зміною ставлення студентів до процесу навчання: воно сприймається як цікавий виклик, що дозволяє підготувати спеціаліста, здатного швидко адаптуватися до нових технологій та нестандартних ситуацій [5]. Цифровізація освіти відкриває широкі можливості для використання мобільних додатків, завдяки чому студенти мають можливість тренуватися у будь-який час, що сприяє індивідуалізації навчання [4].

Командні ігри-симуляції дозволяють майбутнім фахівцям розвивати навички комунікації та спільного прийняття рішень, що є критично важливим для роботи в автотранспортних підприємствах, де результат залежить від злагодженої роботи колективу. Студенти вчаться розподіляти ролі, відповідати за свою ділянку роботи та аналізувати помилки у груповій взаємодії, що максимально наближає їх до реальних умов експлуатації та ремонту техніки. Поєднання глибокої теоретичної бази з ігровими методами відпрацювання практичних навичок є запорукою високої конкурентоспроможності випускника на ринку праці. Вплив гейміфікації на результативність освітнього процесу проявляється у підвищенні якості знань та формуванні стійкої мотивації до професійного зростання. Таким чином, гейміфікація стає дієвим інструментом підвищення якості вищої технічної освіти в умовах цифровізації, дозволяючи готувати кадри, готові до викликів сучасної автомобільної галузі. Системне впровадження цих механік у навчальний процес є необхідним кроком для модернізації технічної освіти та забезпечення галузі кваліфікованими спеціалістами.

Результати дослідження підтверджують ефективність використання гейміфікації як інноваційного педагогічного інструменту, що сприяє формуванню професійних компетентностей, розвитку командної взаємодії та підвищенню мотивації здобувачів освіти.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов’язати з розробленням адаптивних гейміфікованих освітніх середовищ, інтеграцією технологій віртуальної та доповненої реальності у підготовку фахівців автомобільного транспорту, а також із кількісною оцінкою впливу гейміфікації на рівень сформованості професійних компетентностей і безпеку майбутньої діяльності випускників.

**Список використаних джерел**

1. Безрученков Ю. В., Щука Г. П. Інноваційні технології в професійній освіті: світові тренди // *Педагогічна академія: наукові записки*. 2025. № 19. DOI: 10.5281/zenodo.15850493.

2. Бубняк Ю. Р. Соціально-педагогічні передумови підготовки майбутніх фахових молодших бакалаврів з автомобільного транспорту засобами цифрових технологій // *Теорія і методика професійної освіти*. 2025. № 87. С. 130–133. DOI: 10.32782/ip/87.25.

3. Pasichnyi R., Serhieiev V., Shevchenko S., Petrukha N., Hryvnak B. Digital transformation of higher education as a driver of Ukraine’s integration into the European educational space // *Cadernos de Educação Tecnologia e Sociedade*. 2024. Vol. 17, No. se4. P. 232–245. DOI: 10.14571/brajets.v17.nse4.232-245.

4. Bulhakova O., Zosimov V. Gamified active learning and 3D technologies for improving students’ academic achievements // *Information Technologies and Learning Tools*. 2023. Vol. 96, No. 4. P. 46–57. DOI: 10.33407/itlt.v96i4.5380.

5. Бубняк Ю. Р. Методико-практичні засади використання цифрових технологій у процесі підготовки майбутніх фахових молодших бакалаврів з автомобільного транспорту // *Гуманітарні студії: історія та педагогіка*. 2026. № 2. С. 189–197. Режим доступу: http://gsip.wunu.edu.ua/index.php/gsipua/article/view/319 (дата звернення: 13.04.2026).

***Віштак Інна ВІкторівна*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3404, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua).

***Михальчук Ангеліна Олександрівна –*** студентка 3-го курсу, факультету менеджменту та інформаційної безпеки Вінницького національного технічного університету (21021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе 95, e-mail: gelyalina2006@gmail.com).

***Vishtak Inna*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety and Safety Pedagogy of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Polytechnic Street, 7, room 3404, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua).

***Mykhalchuk Anhelina*** – student of 3-d course, Faculty of Management and Information Security of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Khmelnytske Shosse 95, e-mail: gelyalina2006@gmail.com).

УДК 629.114.2

**Войтик Я.М., Зінько Р.В., Скварок Ю.Ю.**

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ДЕТАЛЕЙ КРІПЛЕНЬ ОПОР АВТОМОБІЛЬНОЇ ЦИСТЕРНИ

*У роботі досліджено напружено-деформований стан елементів кріплення автомобільної цистерни до рами з використанням методу скінченних елементів (SolidWorks). Встановлено, що найбільш небезпечними є локальні напруження в зоні кріплення котла, які досягають 171,7 МПа. Проведений аналіз показав, що більшість елементів конструкції мають значний запас міцності, що відкриває можливості для оптимізації маси. Запропоновано конструктивне вдосконалення шляхом встановлення накладок на фасонні лапи, що дозволяє знизити напруження до 40% і підвищити надійність експлуатації цистерни.*

***Ключові слова:*** *автомобільна цистерна; напружено-деформований стан; метод скінченних елементів; міцність конструкцій; кріплення котла; напруження; оптимізація конструкції; динамічні навантаження; надійність; SolidWorks.*

*The paper investigates the stress-strain state of the fastening elements connecting a road tanker to its frame using the finite element method (SolidWorks). It is established that the most critical areas are the local stresses in the tank mounting zones, reaching up to 171.7 MPa. The analysis shows that most structural elements have a significant safety margin, which creates opportunities for weight optimization. A design improvement is proposed by adding reinforcing plates to the mounting brackets, reducing stresses by up to 40% and increasing the operational reliability of the tanker.*

***Keywords:*** *road tanker; stress-strain state; finite element method; structural strength; tank fastening; stresses; structural optimization; dynamic loads; reliability; SolidWorks.*

Статистичні дані обстеження цистерн показали, що під час експлуатації одним із найпоширеніших видів пошкоджень є тріщини в зоні кріплення котла до рами [1]. З метою запобігання аварійних ситуацій, спричиненим відмовою цистерн, доцільно вжити заходів щодо вдосконалення їхньої конструкції. Для вирішення цього завдання необхідний аналіз напружено-деформованого стану (НДС) елементів конструкції цистерн. Зокрема, метою цієї роботи є дослідження впливу на міцність деталей кріплень зміни їх конструктивних параметрів, а також ступеня затягування стяжних хомутів.

Для розрахунків міцності інженерних конструкцій застосовується досить велика кількість різних методів [2-4]. Основним недоліком аналітичних методів є неможливість об’єктивної оцінки напружень у зонах з’єднання елементів зі складною геометричною формою. Щоб забезпечити необхідну точність розрахунків, ми застосували програмний комплекс кінцево-елементного аналізу Solidworks [5].

Автомобільна цистерна являє собою складну конструкцію, на яку в процесі експлуатації діють різні динамічні навантаження. Основними конструктивними елементами автоцистерни є котел і рама. Кріплення котла до рами в середній частині здійснюється жорстко за допомогою фасонних лап. Для запобігання зміщенню котла відносно рами по консольних опорах передбачені стяжні хомути.

Об'єктивна оцінка НДС областей з'єднання котла з рамою можлива тільки при розгляді моделі цистерни як єдиного цілого. Особливості створення кінцево-елементних моделей котла та рами вагона-цистерни представлені в [6]. Поряд із деталями, що зазвичай враховуються при моделюванні, враховано такі особливості конструкції, як підкріплення стяжними хомутами.

При моделюванні напруженого стану опор автомобільної цистерни повинні виконуватись наступні технічні вимоги [7]: центр крену осі відповідає рівню поверхні землі; конструкція транспортного засобу вважається жорсткою; транспортний засіб встановлюється симетрично своїй осьовій лінії; деформації шини і підвіски є лінійними; поперечна деформація

підвіски рівна нулю.

Початкова швидкість руху автомобіля склала 15 м/с, після чого рух відбувався з уповільненням 0,6g уздовж подовжньої осі, уздовж поперечної осі z – 0,3g. Проводилися дослідження напруги, переміщень, деформацій в опорах цистерни з використанням МСЕ. Кінцевоелементні моделі містили від 150 до 300 тисяч кінцевих елементів.

Найбільша величина напруги в елементах кріплення досягає 171,7 МПа і носить локальний (точковий) характер (рисунок 1). Напруга у більшості інших стержневих і пластинчатих елементах конструкції автоцистерни знаходяться на рівні 20-60 МПа, що є недостатнім для сталевих конструкцій і свідчить про те, що конструкція може бути вдосконалена і полегшена.

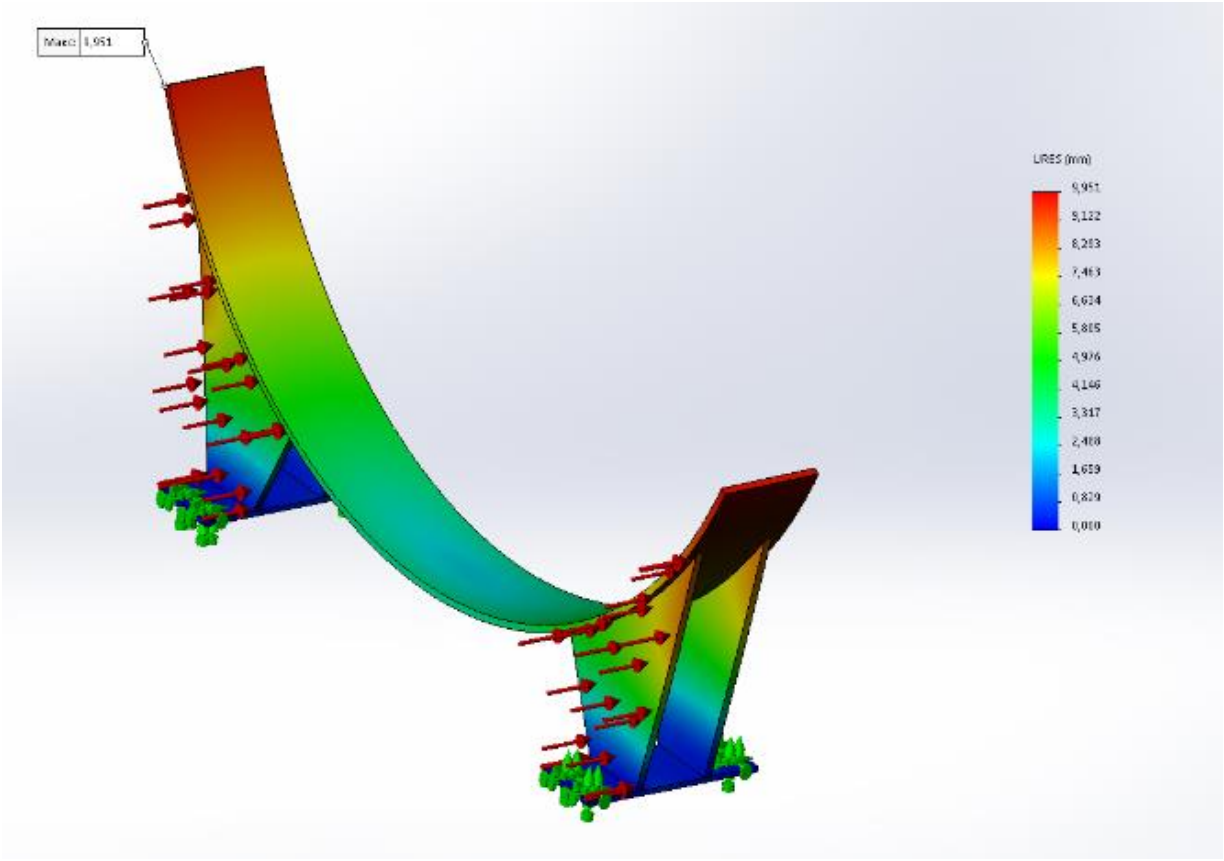



Рисунок 1 – Переміщення (деформації) в 1-й опорі автомобільної цистерни

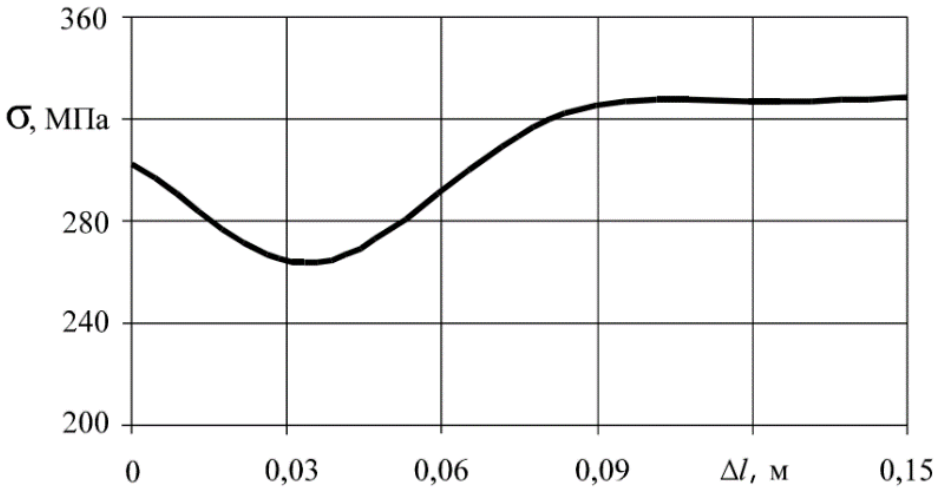



Рисунок 2 – Зміна напружень у зоні кріплення фасонної лапи до хребтової балки зі збільшенням ширини прилягання опори до цистерни

При встановленні накладки шириною 25 мм по довжині фасонної лапи виявлено зниження напружень у зоні з'єднання фасонної лапи та хребтової балки на 30 %. Цікавою є залежність максимальних еквівалентних напружень у цій зоні в міру збільшення довжини накладки на Δl (рисунок 2). Так, при Δl = – 30–40 мм отримано найменші значення напружень у розглянутій області, що забезпечує їх зниження на 40 %.

Висновки. Проведені дослідження показали, що після покращення конструкції цистерни забезпечується безпека її експлуатації. Кріплення цистерни дозволяє знизити амплітуди коливань, максимізувати дисипацію енергії коливань рідини, раціоналізувати конструкцію перегородок і напруги в них.

**Список використаних джерел**

1. Ловська А.О. Удосконалення несучої конструкції кузова напіввагона з метою забезпечення його міцності при маневрових співударяннях. / А.О. Ловська, Ю.Ю. Шафунов // *Збірник наукових праць українського державного університету залізничного транспорту.* Харків: 2015. Випуск 158, Т о м 2. С.21-29.

2. M 06:2018 Methodology of static testing of coupling hinges of tractor trailers and trailed agricultural machines. – Input 2019-07-12. - Kherson: PF UkrNDIPVT named after L. Pohorilo,7 p. (2018).

3. Hilfsmittel zur Erhohung der Transportsicherheit bei Flussigkeitstransporten in Tankfahrzeugen: pat. 10251966 DE: B 60 P 3/22 / M. Enders – Anmeldetag 08.11.02; Offenlegungstag 19.05.04. 3 p.

4. Ziarani, M.M. Optimisation of liquid tank geometry for enhancement of static roll stability of partially-filled tank vehicles / M.M. Ziarani, M.J. Richard, S. Rakheja // *International Journal of Heavy Vehicle Systems*. 2004. Vol. 11. Pp. 155-173.

5. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.

6. Зінько Р.В. Дослідження опорно-зчіпного пристрою цистерни-напівпричепа згідно Правил 13 ЕЭК ООН. / Р.В. Зінько, О.З. Горбай, Ю.Л. Крайник // *Міжнародна науково-практична конференція "Новітні технології розвитку автомобільного транспорту" 16-19 жовтня.* Харків: ХНАДУ. 2018. – 272-273.

7. ДСТУ UN/ECE R 111-00:2002 ДСТУ UN/ECE R 111-00:2002 Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження автоцистерн категорій N і O стосовно їх стійкості проти перекидання (Правила ЕЭК ООН № 111-00:2001, IDT).

***Войтик Ярослав Михайлович*** – аспірант НУ «Львівська політехніка», (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12, e-mail: yaroslav.m.voityk@lpnu.ua).

***Зінько Роман Володимирович*** – д-р техн. наук, професор кафедри системи автоматизованого проектування НУ «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12, e-mail: rzinko@gmail.com).

***Скварок Юрій Юліанович*** – канд. техн. наук, доцент, проректор з науково-педагогічної роботи та інформатизації Дрогобицького державного педагогічного університету ім. І.Франка (82100, м. Дрогобич, вул. І. Франка, 24, e-mail: y.skvarok@dspu.edu.ua).

***Yaroslav M. Voityk*** – Postgraduate Student, Lviv Polytechnic National University (12 Stepana Bandery St., Lviv, 79013, Ukraine, e-mail: yaroslav.m.voityk@lpnu.ua).

***Roman V. Zinko*** – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Computer-Aided Design Systems, Lviv Polytechnic National University (12 Stepana Bandery St., Lviv, 79013, Ukraine, e-mail: rzinko@gmail.com).

***Yurii Yu. Skvarok*** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Academic Affairs and IT Infrastructure, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University (24 Ivana Franka St., Drohobych, 82100, Ukraine, e-mail: y.skvarok@dspu.edu.ua)

УДК 656.13:331.101.1

**Голомисов В.Д.**

# ПОВЕДІНКА ВОДІЯ ЯК ІНДИКАТОР ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ДИЗАЙНУ ТРАНСПОРТНОГО СЕРЕДОВИЩА

*У роботі досліджено вплив візуального дизайну транспортного середовища на поведінкові реакції водія. Визначено чинники відволікання та збільшення часу реагування в міських умовах. Застосовано причинно-наслідковий аналіз і аналіз потенційних відмов для ситуації запізнілої реакції на гальмування. Показано, що поведінка водія є індикатором якості інформаційного дизайну. Обґрунтовано необхідність врахування ергономічних принципів для підвищення безпеки дорожнього руху.*

***Ключові слова:*** *інформаційний дизайн; безпека дорожнього руху; когнітивне навантаження; відволікання водія; людський чинник; транспортне середовище; візуальне перевантаження; ергономіка.*

*The study investigates the impact of visual design parameters of the transport environment on driver behavioural responses. Factors causing distraction and increased reaction time in urban traffic are identified. Causal analysis and failure mode analysis are applied to the case of delayed braking response. It is shown that driver behaviour can serve as an indicator of the quality of information design. The necessity of incorporating ergonomic principles into the design of visual elements to improve road safety is substantiated.*

***Keywords:*** *information design; road safety; cognitive workload; driver distraction; human factor; transport environment; visual overload; ergonomics.*

## 1. Постановка проблеми

У дослідженнях безпеки дорожнього руху помилки водія традиційно трактуються як наслідок неуважності, втоми або недостатньої підготовки. Проте сучасні транспортні системи характеризуються високою насиченістю інформаційного середовища, яке формується як елементами дорожньої інфраструктури, так і візуальними об’єктами комерційного характеру та інтерфейсами транспортних засобів [1].

Зовнішні рекламні носії, цифрові екрани, динамічні світлові панелі, а також багатофункціональні панелі приладів автомобіля створюють складне поле візуальних стимулів. У таких умовах поведінка водія визначається не лише його індивідуальними характеристиками, але й якістю організації інформаційного простору.

Перевантаження зорового каналу, надлишок яскравих або рухомих елементів, конкуренція сигналів за увагу можуть впливати на розподіл уваги та час реакції. У цьому контексті окремі дії водія – запізніла реакція, короткочасне відволікання, помилкова оцінка ситуації – можуть розглядатися не тільки як індивідуальні помилки, але й як індикатори якості дизайну транспортного середовища [1, 2].

Таким чином, питання безпеки руху набуває міждисциплінарного характеру, а дизайнер інформаційного середовища фактично стає одним із учасників формування умов безпечної поведінки водія.

Головна ідея роботи: помилки водія не завжди є наслідком «неуважності». Часто вони є реакцією на перевантажене інформаційне середовище. І тут дизайнер стає учасником безпеки руху.

**Мета роботи** полягає у визначенні того, чи може поведінка водія розглядатися як індикатор якості інформаційного дизайну транспортного середовища, а також у виявленні впливу візуального перевантаження на характеристики реагування під час керування автомобілем.

**Об’єкт дослідження** – процес взаємодії водія з інформаційним середовищем у системі «водій – транспортний засіб – дорожнє середовище».

**Предмет дослідження** – вплив елементів візуального середовища (рекламні щити, цифрові екрани, панель приладів автомобіля) на поведінкові реакції водія в умовах реального руху.

**2. Теоретичне підгрунтя**

Одним із ключових понять є когнітивне навантаження (cognitive workload) [3] – обсяг інформації, який людина змушена обробляти в одиницю часу під час виконання завдання. У процесі керування транспортним засобом водій одночасно здійснює сприйняття дорожньої обстановки, прогнозування розвитку ситуації, прийняття рішень та моторне реагування. Збільшення кількості візуальних стимулів підвищує когнітивне навантаження, що може впливати на швидкість та точність реакцій.

Важливу роль відіграє також вибіркова увага (selective attention) [3] – здатність людини фокусуватися на релевантних сигналах і пригнічувати другорядні. У середовищі з високою щільністю візуальних елементів виникає конкуренція стимулів за увагу, що може призводити до тимчасового відволікання або пропуску критично важливої інформації.

У межах концепції взаємодії «людина – машина» (human–machine interaction) ефективність системи розглядається як результат узгодженості характеристик людини та параметрів інтерфейсу. Невдале розміщення, надмірна анімація або інформаційна насиченість панелі приладів чи зовнішнього середовища можуть створювати додаткове навантаження та впливати на поведінку оператора.

Засоби візуального дизайну – колір, контрастність, яскравість, динамічні елементи, композиційна щільність – безпосередньо впливають на функціональний стан водія [5]. Надлишок стимулів може спричиняти сенсорне перевантаження, підвищення напруження або короткочасне переключення уваги на другорядні об’єкти. У транспортних умовах це проявляється у збільшенні часу реакції, помилковій інтерпретації сигналів, пропуску дорожніх знаків або запізнілому гальмуванні. Таким чином, характеристики візуального дизайну стають фактором, що впливає на надійність поведінки водія [3, 4].

Таким чином, поведінкові реакції водія можуть інтерпретуватися не лише як індивідуальні особливості, а й як прояв рівня адаптованості інформаційного середовища до можливостей людини.

**3. Дослідження, результати та їх інтерпретація**

**Мікродослідження візуального навантаження міського середовища (м. Львів)**

У межах роботи проведено спрощений аналіз візуального середовища центральної частини м. Львова в умовах середини дня (висока щільність руху, активна комерційна реклама). Об’єктом оцінювання стало поле зору водія на ділянці міської магістралі з інтенсивним транспортним та пішохідним рухом. Критеріями оцінювання було наступне:

1. кількість візуальних елементів у полі зору (дорожні знаки, світлофори, рекламні щити, вивіски, екрани);
2. колірна насиченість середовища (наявність висококонтрастних поєднань, яскравих LED-екранів);
3. наявність рухомих або анімаційних об’єктів (динамічна реклама, змінні зображення, миготіння).

Виявлено, що типова ділянка центральної вулиці міста має таке візуальне навантаження:

- дорожні знаки та світлофори – 6–10 елементів;
- комерційні рекламні носії – 4–7 елементів;
- цифрові або світлодіодні екрани – 1–3 елементи;
- вивіски магазинів – понад 10 візуальних об’єктів;
- наявність щонайменше 2–3 динамічних або змінних зображень.

Сумарна кількість візуальних стимулів у полі зору може перевищувати 20–25 одночасних елементів. В умовах інтенсивного міського руху така щільність стимулів формує конкурентне середовище для розподілу уваги. Частина об’єктів не пов’язана з безпекою руху, проте має вищу візуальну інтенсивність (контраст, динаміка, яскравість), що підвищує

ймовірність короткочасного перемикання уваги. Таким чином, у типовому міському середовищі формується підвищене когнітивне навантаження, яке може впливати на час реагування водія.

**Структурний аналіз причинно-наслідкових зв'язків із застосуванням діаграми Ісікави.** Як центральну проблему визначено відволікання водія в умовах візуального перевантаження. У межах аналізу виділено такі групи факторів:

- інформаційні фактори: надлишкова кількість елементів, дрібний текст, низька ієрархія інформації;
- візуально-динамічні фактори: анімація, мерехтіння, висока яскравість;
- композиційні фактори: невдале розташування індикаторів, порушення зон огляду;
- середовищні фактори: поєднання зовнішньої реклами з дорожніми знаками;
- людський фактор: втома, перевантаження уваги.

Аналіз показав, що ключовими є інформаційні та візуально-динамічні чинники, які безпосередньо впливають на розподіл уваги. Отримані результати стали основою для подальшого деталізованого аналізу із застосуванням елементів FMEA.




Рисунок 1 – Аналіз причин відволікання водія (діаграма Ісікави).

**Структурований аналіз потенційної відмови водія в умовах візуального перевантаження**

У межах роботи поведінку водія розглянуто як функціональний елемент системи «водій – транспортний засіб – середовище». Як потенційний режим зниження надійності визначено запізнілу реакцію на зміну дорожньої ситуації (зокрема, на гальмування попереднього автомобіля). Для структуризації можливих причин застосовано елементи методу FMEA, що дозволило пов'язати параметри візуального дизайну з конкретними поведінковими проявами.

Аналіз показав, що найбільший вплив на надійність реакцій мають динамічні та високоінтенсивні візуальні стимули, які створюють конкуренцію за увагу та підвищують когнітивне навантаження. У таких умовах запізніла реакція може розглядатися не лише як

індивідуальна помилка, а як індикатор невідповідності параметрів інформаційного дизайну психофізіологічним можливостям людини.

Таблиця 1 – Аналіз впливу елементів візуального дизайну на запізнілу реакцію водія

| Елемент візуального середовища | Механізм впливу | Можлива поведінкова відмова | Потенційний наслідок для безпеки |
|---|---|---|---|
| Яскравий динамічний рекламний екран | Перемикання уваги | Запізніла реакція на гальмування | Збільшення гальмівного шляху |
| LED-екран із швидкою зміною зображення | Короткочасне відволікання | Пропуск дорожнього знака | Невиконання вимог регулювання |
| Висока щільність інформації на цифровій панелі приладів | Підвищене когнітивне навантаження | Затримка прийняття рішення | Несвоєчасна зміна швидкості |
| Надмірна кількість індикаторів попередження | Перевантаження уваги | Ігнорування частини сигналів | Непомічене попередження про небезпеку |
| Низький контраст індикаторів | Ускладнення зорового пошуку | Збільшення часу розпізнавання | Запізніла реакція на зміну режиму |
| Невдале розташування дисплея поза зоною прямого огляду | Порушення ергономіки поля зору | Часте переведення погляду | Втрата контролю над дорожньою ситуацією |
| Поєднання реклами з дорожніми знаками | Конкуренція візуальних стимулів | Помилкова інтерпретація сигналів | Невірний маневр |

**Висновки**

У результаті проведеного аналізу встановлено, що параметри візуального дизайну транспортного середовища здатні безпосередньо впливати на надійність поведінкових реакцій водія. Динамічні, високоінтенсивні та інформаційно перевантажені елементи створюють конкуренцію за увагу, підвищують когнітивне навантаження та можуть збільшувати час реагування на зміну дорожньої ситуації.

Поведінкові прояви, такі як запізніла реакція, короткочасне відволікання або пропуск важливих сигналів, доцільно розглядати не лише як індивідуальні помилки, а як можливі індикатори невідповідності інформаційного середовища психофізіологічним можливостям людини.

Таким чином, поведінка водія може виступати діагностичним показником якості інформаційного дизайну транспортного середовища. Частотність відволікань, труднощі з розпізнаванням сигналів або систематичні затримки реакції можуть свідчити про перевантаженість або нераціональну організацію візуального простору.

Отже, інформаційний дизайн слід розглядати як складову системи забезпечення безпеки дорожнього руху. Якість композиційних рішень, ієрархія інформації, контроль динамічних ефектів і рівня візуальної інтенсивності мають значення не лише для естетики чи комунікації, а й для функціональної надійності поведінки водія.

**Список використаних джерел**

1. Зеркалов Д.В., Левковець П.Р., Мельниченко О.І., Дмитрієв О.М. Безпека руху автомобільного транспорту. Київ : Основа, 2002. 312 с.
2. Парасюк В.М., Демків Р.Я., Когут В.М. Безпека дорожнього руху : навчальний посібник. Львів : Львівський державний університет внутрішніх справ, 2022. 304 с.
3. Гура С.О. Інженерна психологія : курс лекцій. Харків : НУЦЗ України, 2016. 240 с.

4. ДСТУ ISO 9241-210:2012. Ергономіка взаємодії людина–система. Людино-орієнтоване проєктування інтерактивних систем. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2013. 36 с.
5. Бойко О.М. Інформаційний дизайн та візуальні комунікації в міському середовищі. Київ : Каравела, 2020. 198 с.

***Голомисов Владислав Дмитрович*** – студент освітньої програми «Видавництво та поліграфія», кафедра інформаційних технологій видавничої справи, Інститут комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний університет «Львівська політехніка».

***Holomysov Vladyslav*** – a student in the educational program "Publishing and Printing" Department of Information Technologies of Publishing, Institute of Computer Science and Information Technologies, Lviv Polytechnic National University.

УДК 629.331.083

**Голуб Д.В., Аулін В.В., Голованов А.П., Степанов В.В., Зазімко А.Ю.**

# АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ-ТАКСІ ПРИ ЗРОСТАННІ ЇХ НАПРАЦЮВАННЯ

*Розглянуто проблему визначення ефективності експлуатації автомобілів-таксі з урахуванням їх старіння та зміни технічного стану в процесі напрацювання. Показано, що існуючі методи встановлення терміну експлуатації та норм амортизації, які базуються на пробігу або календарному терміні, не враховують фактичний технічний стан транспортних засобів і можуть призводити як до передчасного списання, так і до збиткової експлуатації.*

*Проаналізовано вплив фізичного старіння елементів, що швидко зношуються, на інтенсивність відмов, експлуатаційні витрати та загальну ефективність автомобілів-таксі. Обґрунтовано необхідність встановлення залежностей, що характеризують зміну технічного стану та ефективності експлуатації залежно від напрацювання, а також визначення інтенсивності старіння автомобілів-таксі різних марок і моделей.*

***Ключові слова:*** *автомобілі-таксі, ефективність експлуатації, технічний стан, напрацювання, старіння, інтенсивність відмов, експлуатаційні витрати, ресурс.*

*The problem of determining the operational efficiency of taxi vehicles considering their aging and changes in technical condition during operation is examined. It is shown that the existing methods for determining service life and depreciation rates, which are based on mileage or calendar time, do not take into account the actual technical condition of vehicles and may lead both to premature withdrawal from service and to unprofitable operation.*

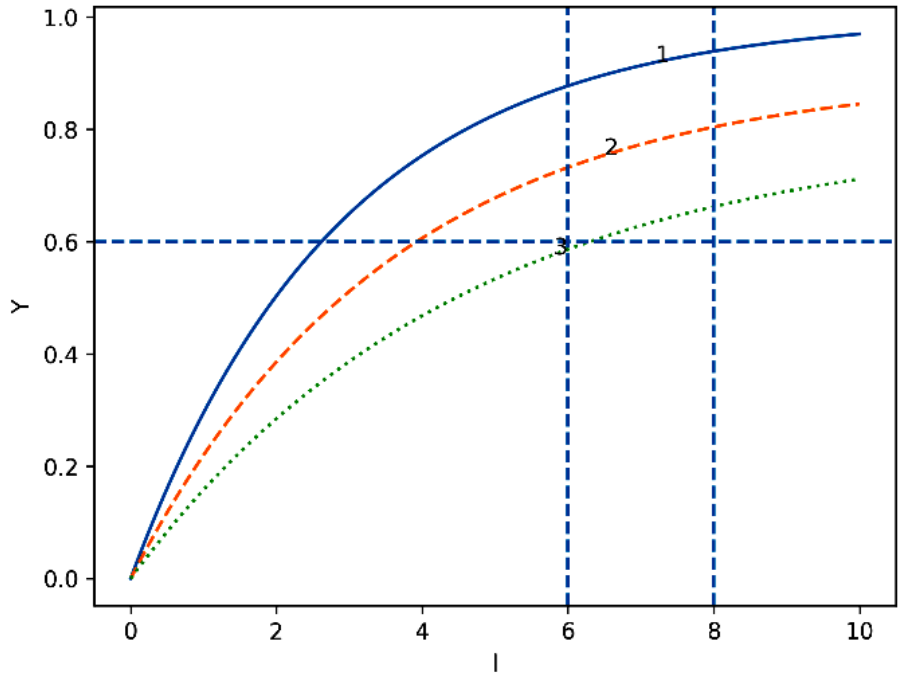
*The influence of physical aging of rapidly wearing components on failure rate, operating costs, and overall efficiency of taxi vehicles is analyzed. The necessity of establishing relationships that characterize changes in technical condition and operational efficiency depending on accumulated mileage, as well as determining the aging intensity of taxi vehicles of different makes and models, is substantiated.*

***Keywords:*** *taxi vehicles, operational efficiency, technical condition, accumulated mileage, aging, failure rate, operating costs, service life.*

Результатом використання автомобілів є їх поступове фізичне та технічне старіння [1, 3]. У зв'язку з цим одним із складних і багатофакторних завдань автотранспортного підприємства (АТП) є оцінювання ефективності експлуатації такого рухомого складу [2, 4]. При цьому важливо визначати не лише загальну економічну ефективність АТП, яку можна представити як співвідношення отриманого прибутку до витрат на його забезпечення, але й ефективність використання окремого автомобіля [5]. Безперервна зміна умов роботи рухомого складу таксомоторних підприємств, а також удосконалення конструкцій автомобілів спричиняють невизначеність тривалості періоду їх використання, протягом якого забезпечується стабільно високий рівень ефективності. Такі АТП застосовують систему амортизації основних виробничих фондів, важливою складовою яких є рухомий склад. На сьогодні для встановлення амортизаційних норм використовуються два підходи: залежно від величини напрацювання в тисячах кілометрів пробігу або залежно від тривалості експлуатації в роках. Однак жоден із цих підходів не враховує фактичного технічного стану автомобілів, а також не передбачає оцінювання ефективності їх використання.

Відомо, що ефективність використання автомобілів-таксі змінюється зі збільшенням їх напрацювання. Зазвичай новий автомобіль характеризується максимальною ефективністю, оскільки його агрегати, вузли та деталі мають найменший рівень несправностей. Це пояснюється тим, що вони виготовлені підприємством-виробником відповідно до технічних вимог із дотриманням установленого контролю якості. Проте зі збільшенням напрацювання

технічний стан елементів автомобілів-таксі істотно змінюється та має змінний характер (рис. 1).




1, 2, 3 – відповідно оптимальний, середній і мінімально допустимий рівні ефективності експлуатації автомобілів-таксі

Рисунок 1 – Залежність провідної функції і параметра потоку відмов деталей автомобіля-таксі, що швидко зношуються, від пробігу

У конструкції автомобіля-таксі наявна група компонентів, які швидко зношуються і потребують регулярної заміни. Використання таких деталей необхідне для забезпечення працездатності інших взаємопов'язаних елементів і підтримання їх у технічно справному стані протягом тривалого часу [7, 8]. Водночас довготривала експлуатація деталей із великим ресурсом спричиняє накопичення в них фізичних, хімічних і геометричних пошкоджень. У цьому випадку під час подальшої взаємодії з елементами, що швидко зношуються, може відбуватися різке скорочення інтервалів їх заміни, що пов'язано зі швидкою, стрибкоподібною та важко прогнозованою зміною їх технічного стану. Подібні явища називають фізичним старінням.

У Положенні про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту [6] вплив погіршення технічного стану автомобіля зі збільшенням напрацювання на забезпечення справності деталей, вузлів і агрегатів характеризується через зміну трудомісткості виконання ремонтних робіт. Проте такий підхід до оцінювання технічного стану за умов тривалої експлуатації супроводжується значною неточністю, що при застосуванні амортизаційних нормативів може спричинити як передчасне недовикористання ресурсу транспортного засобу, так і подальшу неефективну експлуатацію автомобілів, які вже втратили належний рівень працездатності.

У першому випадку технічний стан автомобіля змінюється повільніше, ніж передбачено Положенням [6]. Це означає, що списання автомобіля-таксі відбуватиметься передчасно, що призведе до неповного використання його ресурсу та втрати потенційного економічного ефекту. Основною складовою змінних витрат таксомоторних підприємств є експлуатаційні витрати автомобілів-таксі, що неодноразово підтверджувалося на практиці залежністю, яка має зростаючий характер зі збільшенням напрацювання (рис. 1).

Причиною зростання таких витрат у процесі експлуатації є погіршення технічного стану деталей, вузлів і агрегатів автомобіля-таксі, внаслідок чого зі збільшенням напрацювання зростає кількість несправностей у його конструкції. Частота виконання необхідних замін також

змінюється, оскільки з часом усе більше елементів виходять з ладу, що спричиняє відмови систем, які вже неможливо повністю відновити до початкових характеристик і властивостей [8, 9]. При цьому характер кривої змінних витрат суттєво відрізняється не лише між різними моделями автомобілів-таксі, але й залежить від якості виконання робіт із підтримання їх працездатності. Значний вплив на це мають рівень технічного оснащення виробничої бази таксомоторних підприємств, кваліфікація персоналу та система його стимулювання для забезпечення якісного виконання відновлювальних робіт рухомого складу.

У другому випадку технічний стан рухомого складу погіршується занадто швидко, а виконання робіт із його підтримання не забезпечує повного відновлення систем автомобілів-таксі. За таких умов момент зниження ефективності їх використання настає раніше встановленого терміну списання, тобто виникає період збиткової експлуатації автомобілів-таксі. Таким чином, визначення ресурсу на основі амортизаційних норм є неефективним підходом до використання парку автомобілів-таксі та доцільне лише для техніко-економічних розрахунків без застосування при плануванні фактичного строку їх експлуатації.

На сьогодні визначення об'єктивної величини прибутку від експлуатації таксомоторного автомобільного транспорту ускладнюється низкою факторів. Одним із них є те, що раніше для окремих марок і моделей автомобілів встановлювалися фіксовані нормативи питомих витрат, перевищення яких вважалося ознакою значного погіршення технічного стану [5, 9]. Однак зміна сучасних умов функціонування таксомоторного транспорту обмежує можливість використання цих нормативів. Відбулися суттєві зміни не лише вартості запасних частин і експлуатаційних матеріалів, але й якості комплектуючих та рівня їх доступності на ринку. Актуальним завданням є визначення та коригування нормативів технічного обслуговування і поточного ремонту для автомобілів-таксі з великим напрацюванням понад 300 тис. км. Це питання є важливим не тільки для транспортних засобів вітчизняного виробництва, але насамперед для автомобілів іноземного виробництва, оскільки їх частка в парку таких підприємств значно зросла і часто є домінуючою. Особливий інтерес становить оцінка ефективності експлуатації рухомого складу з початковим напрацюванням для автотранспортних підприємств, які використовують автомобілі-таксі, придбані за кордоном. Поширення такої практики зростає, оскільки існує думка, що використання автомобілів іноземного виробництва з початковим пробігом за межами України є ефективнішим порівняно з експлуатацією вітчизняних транспортних засобів у тих самих умовах. Водночас спостерігається недостатність статистично оброблених даних із цього питання. У результаті кінцеві користувачі, купуючи автомобілі іноземного виробництва для роботи в таксі, змушені діяти в умовах невизначеності та ризику. Для вирішення цієї проблеми необхідно здійснити накопичення та аналіз значного обсягу інформації, що дозволить об'єктивно оцінити ефективність експлуатації такого рухомого складу.

З огляду на викладене, актуальним завданням є встановлення залежностей, які відображають зміну технічного стану автомобілів-таксі залежно від величини їх напрацювання, що дасть можливість обґрунтовано оцінити доцільність їх використання. Важливим напрямом досліджень також є визначення інтенсивності старіння окремих марок і моделей рухомого складу, що дозволить узгодити тривалість експлуатації автомобіля з умовами та інтенсивністю його використання. У подальшому отримані результати можуть бути узагальнені та використані для планування показників продуктивності, рівня витрат і загальної ефективності функціонування парку автомобілів-таксі.

**Список використаних джерел**

1. Андрусенко С.І., Бугайчук О.С. Організація технічної експлуатації автомобілів в Україні за сучасних умов. Вісник НТУ: Серія «Технічні науки». Вип. 1(34). К: НТУ, 2016. С. 12-20.

2. Аулін В. В., Голуб Д. В., Біліченко В. В., А. С. Замуренко Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2020. № 1(11). С. 4-10.

3. Березняцький В.В. Оптимізація часу простою автомобілів у ремонті і обслуговуванні за рахунок удосконалення оперативного планування виконання цих робіт. Вісник НТУ. Серія

«Технічні науки». Вип. 1(34). К: НТУ, 2016. Р 56-59.

4. Голуб Д.В. Підвищення ефективності управління технологічним процесом доставки на основі аналізу статичних та динамічних резервів транспортної системи. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. Вип. 7(38). Ч.1 С. 214-221.

5. Іванушко О.М. Підвищення ефективності експлуатації автотранспортних засобів шляхом оптимізації періодичності технічного обслуговування: дис... канд. техн. наук: 05.22.20. НТУ, Київ, 2020. 240 с.

6. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Наказ МТУ № 102 від 30 березня 1998 р. Київ: МТУ, 1998. 52 с.

7. Сахно В.П., Іванушко О.М. Вплив умов експлуатації та системи технічного обслуговування і ремонту на технічний стан автотранспортних засобів. Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К.: НТУ, 2017. Вип. 1 (37), С. 363-372.

8. Форнальчик Є. Ю., Оліскевич М. С., Мастикаш О. Л. та ін. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: навч. посіб. Львів: Афіша, 2004. 492 с.

9. Garg, A., Deshmukh, S. G. Maintenance management literature review and directions. International Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2006. №12(3). pp. 205-238.

***Голуб Дмитро Вадимович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: Dimchik529@gmail.com).

***Аулін Віктор Васильович*** – д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: AulinVV@gmail.com).

***Голованов Анатолій Петрович*** – голова правління акціонерного товариства Таксомоторний парк (25003, м. Кропивницький, вул. Автолюбителів, 2, e-mail: nedostoieva@ukr.net).

***Степанов Вадим Валерійович*** – студент кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: vadostelefon@gmail.com).

***Зазімко Артем Юрійович*** – студент кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: vs26021982@gmail.com).

***Holub Dmytro*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: Dimchik529@gmail.com).

***Aulin Viktor*** – Dr. Prof., Professor of the Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: AulinVV@gmail.com).

***Golovanov Anatolii*** – chairman of the board of the joint stock company Taximotor Park (25003, Kropivnitsky, Avtoliubyteliv Street, 2, e-mail: nedostoieva@ukr.net).

***Stepanov Vadym*** – student of Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: vadostelefon@gmail.com).

***Zazimko Artem*** – student of Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: vs26021982@gmail.com).

УДК 629.08

**Голуб Д.В., Аулін В.В., Кічура Р.П.**

# ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ ПІДВИЩЕННЯМ ЇХ РЕСУРСУ

*Розглянуто питання підвищення ефективності експлуатації та ремонту вантажних автомобілів, що функціонують в умовах агропромислового виробництва, шляхом застосування стратегії групової заміни деталей. Обґрунтовано, що традиційна заміна лише відмовленої деталі забезпечує повне використання її ресурсу, але призводить до збільшення частоти ремонтів і зниження загальної ефективності експлуатації транспортних засобів. Натомість групова заміна деталей дозволяє підвищити безвідмовність вузлів і агрегатів, проте супроводжується частковим недовикористанням ресурсу окремих елементів і додатковими економічними витратами.*

*Визначено умови оптимального формування груп деталей, зокрема необхідність близьких середніх ресурсів і подібних законів розподілу напрацювання до граничного стану. Показано особливості формування груп для елементів ходової частини та трансмісії з урахуванням їх функціональних і кінематичних зв'язків. Запропонований підхід сприяє підвищенню довговічності, безвідмовності та безпеки експлуатації вантажних автомобілів, а також оптимізації витрат на їх технічне обслуговування і ремонт в умовах агропромислового виробництва.*

***Ключові слова:*** *вантажний автомобіль, експлуатація, надійність, групова заміна деталей, ресурс, безвідмовність, ремонт, агропромислове виробництво.*

*The issue of improving the efficiency of operation and repair of trucks functioning under the conditions of agro-industrial production through the application of a group replacement strategy for parts is considered. It is substantiated that the traditional replacement of only the failed part ensures full utilization of its service life, but leads to an increase in repair frequency and a decrease in the overall operational efficiency of vehicles. At the same time, group replacement of parts makes it possible to increase the reliability of units and assemblies; however, it is accompanied by partial underutilization of the service life of individual elements and additional economic costs.*

*The conditions for the optimal formation of groups of parts have been determined, in particular the requirement for similar average service lives and similar distribution laws of time to the limiting state. The features of group formation for chassis and transmission elements are shown, taking into account their functional and kinematics relationships. The proposed approach contributes to increasing the durability, reliability, and operational safety of trucks, as well as optimizing the costs of their maintenance and repair under the conditions of agro-industrial production.*

***Keywords:*** *truck, operation, reliability, group replacement of parts, service life, failure-free operation, repair, agro-industrial production.*

Оскільки вантажний автомобіль є складною системою, що допускає багаторазове відновлення працездатності, ефективність проведення ремонтів виступає важливим фактором забезпечення надійності його роботи в умовах агропромислового виробництва (АПВ) [1, 2, 6, 8]. Однією з ключових складових цього процесу є обрана стратегія заміни зношених елементів транспортного засобу (ТЗ) [4, 9]. У більшості випадків відмова вантажного автомобіля зумовлена виходом з ладу окремої деталі (наприклад, руйнуванням зуба шестерні або підгоранням електричного контакту), заміна якої дозволяє повністю відновити його працездатність [4, 14]. За такої стратегії ресурс кожної деталі використовується максимально, однак ремонти стають частими, що знижує загальну ефективність експлуатації, що є небажаним у виробничих процесах АПВ. У практичній діяльності разом із деталлю, яка безпосередньо відмовила, зазвичай замінюють і інші елементи, які під час розбирання агрегату за результатами дефектації віднесені до категорії

значно зношених або таких, що мають інші пошкодження [14]. Для підвищення ефективності використання парку вантажних автомобілів в умовах АПВ доцільним є впровадження статистично обґрунтованої системи групової заміни деталей з урахуванням сезонного характеру виробничої діяльності.

На сьогодні досить поширеною є практика одночасної заміни взаємодіючих деталей під час розбирання вузлів і агрегатів [5-7, 12, 13]. Прикладом може бути заміна поршневої групи разом із комплектом поршневих кілець, а також встановлення в зборі диференціала і головної передачі заднього моста вантажних автомобілів. Підставою для виконання таких групових замін є значний початковий знос сполучених деталей, що часто спричиняє повторні відмови у подальшій експлуатації. Подібний підхід може застосовуватися і до інших систем вантажних автомобілів. Це дозволяє досягти високого рівня безвідмовності, однак призводить до неповного використання ресурсу окремих деталей та супроводжується додатковими економічними витратами. Така стратегія широко застосовується в авіаційній галузі, де відмова елемента може мати катастрофічні наслідки. Натомість у автомобілебудуванні планова заміна груп деталей до настання відмови практично не використовується через її значну вартість.

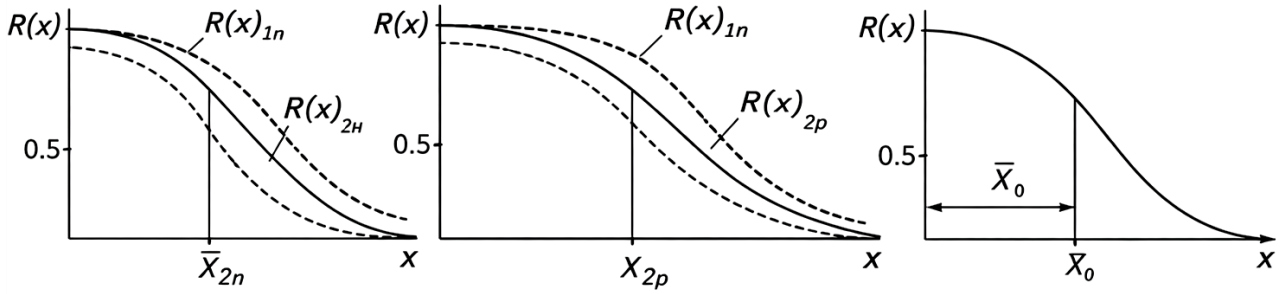
У роботі пропонується ефективність групової заміни деталей при ремонті вантажних автомобілів в АПВ оцінювати коефіцієнтом використання ресурсу деталі $\beta$, коефіцієнтом вартості групи деталей $\beta_в$ і коефіцієнтом загальних витрат при груповій заміні деталей $\beta_г$, [14].

Коефіцієнти пропонується визначати за наступною залежністю:

$$\beta = \overline{X_c} / \overline{X_i}\,, \qquad (1)$$

де $\overline{X_c}$ - середній ресурс групи спільно замінюваних деталей; $\overline{X_i}$ - середній ресурс деталі при її роботі до відмови.

Очевидним критерієм оптимальності групової одночасної заміни деталей є максимально можливе використання їхнього ресурсу, що забезпечується за умови наближення відповідного показника до одиниці. На рис. 1 наведено приклад кривих безвідмовності деталей вантажних автомобілів, які підлягають спільній заміні та експлуатуються в умовах агропромислового виробництва.




а б в

а – безвідмовність поршнів, б – безвідмовність ресор, в – безвідмовність групи деталей

Рисунок 1 – Приклад кривих безвідмовності спільно замінюваних деталей вантажних автомобілів при експлуатації в АПВ

Аналіз кривих безвідмовності свідчить, що зі збільшенням розсіювання ресурсу деталей зростає недовикористання ресурсу елементів, які підлягають спільній заміні у вантажних автомобілях, що працюють в умовах АПВ. Крім того, зі збільшенням кількості деталей у групі зменшується коефіцієнт використання їхнього ресурсу. За незначних напрацювань поршні практично не відмовляють, тоді як ресори можуть виходити з ладу; водночас при значних напрацюваннях частина ресор ще залишається працездатною, однак поршні вже досягають граничного стану за ресурсом. Проведений аналіз результатів дозволяє сформулювати такі висновки щодо групових замін елементів вантажних автомобілів, що експлуатуються в АПВ: кількість деталей, включених до групи спільної заміни, не повинна бути надмірною; планова

одночасна заміна є більш доцільною для деталей із незначною варіацією ресурсу; усі елементи, що об'єднуються в групу, повинні мати не лише близькі середні значення ресурсу, а й однакові закони розподілу ймовірності напрацювання до граничного стану.

Запропонований підхід до організації групових замін деталей вантажних автомобілів в умовах АПВ є актуальним, оскільки його широке впровадження сприятиме підвищенню довговічності систем транспортних засобів. Водночас важливим критерієм є забезпечення належного рівня безвідмовності вузлів і агрегатів, адже мінімізуються втрати від недовикористаного ресурсу сполучених деталей із дефектами та підвищується безпека експлуатації. Недоліком такого підходу залишається недостатній розвиток методів випробування вузлів і агрегатів для виявлення оптимальних груп елементів, які доцільно замінювати комплексно під час ремонту. Також існують методики іншого напряму, згідно з якими всі деталі рухомого складу поділяють на дві групи за характером переважаючих зв'язків: до першої належать деталі та сполучення, що виконують однакові функції в автомобілі, але сприймають навантаження, які можуть випадково змінюватися під впливом дорожніх умов і довкілля; до другої - однойменні елементи з кінематичними зв'язками, через які передається крутний момент.

Для окремих елементів першої групи спостерігаються відмінності в напрацюванні, тому багато дослідників рекомендують здійснювати їх заміну попарно з деталями, розташованими симетрично відносно поздовжньої осі автомобіля. Це пояснюється необхідністю збереження номінальних пружно-жорсткісних характеристик підресореної маси вантажного автомобіля. Такий підхід є особливо доцільним при парній заміні елементів правої сторони транспортного засобу, оскільки вони зазнають підвищених навантажень через нерівності правого узбіччя та нахил дорожнього полотна вправо, що створює гірші умови експлуатації під час перевезення продукції АПВ. Особливістю другої групи є можливість виникнення ударних навантажень у разі зношування будь-якого сполучення трансмісії, що спричиняє миттєве зростання крутного моменту на карданному валу внаслідок динамічної взаємодії елементів за наявності зазорів. Ударний характер передавання моменту на вторинному валу коробки передач підвищує навантаження і на інші послідовно пов'язані сполучення трансмісії. Отже, ресурс кожного елемента системи двигун–трансмісія визначається не лише його власним технічним станом, але й величиною люфтів в інших вузлах трансмісії, тому під час планування групових замін необхідно враховувати нерівномірність зміни стану елементів та їх залежність від стану взаємопов'язаних систем.

**Список використаних джерел**

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Лівіцький О.М. Вплив стратегій технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської техніки на її стан, умови і охорону праці операторів. Вісник ЖНАЕУ: науково-теоретичний збірник. вип. № 2 (45), т.4, ч.II. Житомир, 2014. С. 37-50.

2. Аулін В.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В. та ін. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. Вип. 158. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Харків. 2015.-С.252-262.

3. Бажинов О.В. Наукові основи оцінки ресурсу силових агрегатів транспортних машин з урахуванням умов експлуатації: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.22.20. Харків, 2001. 32 с.

4. Василевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів: Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2010. 129 с.

5. Захарчук О.В. Технічне обслуговування і ремонт АТЗ: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2015. 140 с.

6. Лівіцький О.М. Підвищення надійності автотракторної техніки елементно-модульною системою технічного обслуговування і ремонту: дис... канд. техн. наук: 05.22.20. Харків, 2021. 206 с.

7. Полянський О.С. Формування властивостей надійності автотракторних двигунів у гарантійний і післягарантійний періоди експлуатації: дис... д-ра техн. наук: 05.22.20. Харків,

2004. 381 с.

8. Савченко В.Б. Забезпечення надійності сільськогосподарських машин і технологічних комплексів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.11. Харків, 2000. 18 с.

9. Сахно В.П., Іванушко О.М. Вплив умов експлуатації та системи технічного обслуговування і ремонту на технічний стан автотранспортних засобів. Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К.: НТУ, 2017. Вип. 1 (37), С. 363-372.

10. Сєрікова О.А. Вдосконалення методів діагностування та прогнозування технічного стану двигуна внутрішнього згоряння автомобіля: Автореф. дис... канд. техн. наук.: 05.22.20. Харків, 2011. 20 с.

11. Форнальчик Є. Ю., Оліскевич М. С., Мастикаш О. Л., Пельо Р. А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: навч. посіб. Львів: Афіша, 2004. 492 с.

12. Chen, J., & Trivedi, K. S. Optimization for condition-based maintenance with imperfect maintenance effects. IEEE Transactions on Reliability, 2005. 54(2). P. 201–211.

13. Fiorenzo Franceschini and Domenico MaisanoStandardization of quality and reliability tests in the auto-parts industry: a structured approach concerning thermal systems. Total Quality Management & Business Excellence, 2014. №26(11). P. 1-13.

14. Jardine, A. K. S., Tsang, A. H. C. Maintenance, replacement, and reliability: theory and applications. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. 364 p.

***Голуб Дмитро Вадимович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: Dimchik529@gmail.com).

***Аулін Віктор Васильович*** – д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: AulinVV@gmail.com).

***Кічура Руслан Петрович*** – аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: romnik83@ukr.net).

***Holub Dmytro*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: Dimchik529@gmail.com).

***Aulin Viktor*** – Dr. Prof., Professor of the Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: AulinVV@gmail.com).

***Kichura Ruslan*** – postgraduate student of Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: romnik83@ukr.net).

УДК 629.083

**Голуб Д.В., Аулін В.В., Ювженко О.В.**

# ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

*Розглянуто сучасний стан питання оцінки технічного стану рухомого складу вантажних автомобілів і ефективності його експлуатації в умовах агропромислового виробництва. Виявлено, що на сьогоднішній день в поній мірі відсутня систематизована інформація щодо експлуатації вантажних автомобілів з терміном напрацювання більше десяти років, що характеризує невизначеність при виборі транспортного засобу для перевезення вантажів при обслуговуванні агропромислового виробництва.*

*Обґрунтовано необхідність комплексної оцінки техніко-економічних показників вантажних автомобілів агропромислового виробництва з урахуванням безвідмовності, ремонтопридатності, інтенсивності відмов і витрат на технічне обслуговування та ремонт. Запропоновано підхід, спрямований на підвищення ефективності використання вантажних автомобілів у виробничому процесі агропромислового комплексу.*

***Ключові слова:*** *рухомий склад, вантажний автомобіль, ефективність, експлуатація, оцінка, систематизована інформація, агропромислове виробництво.*

*The current state of the issue of assessing the technical condition of rolling stock of trucks and the efficiency of its operation in the conditions of agro-industrial production is considered. It was found that to date, there is no systematic information on the operation of trucks with an operating period of more than ten years, which characterizes the uncertainty when choosing a vehicle for transporting goods when servicing agricultural production.*

*The need for a comprehensive assessment of the technical and economic indicators of trucks for agricultural production, taking into account reliability, maintainability, failure intensity, and maintenance and repair costs, is substantiated. An approach aimed at increasing the efficiency of using trucks in the production process of the agro-industrial complex is proposed.*

***Keywords:*** *rolling stock, truck, efficiency, operation, evaluation, systematized information, agro-industrial production.*

В умовах безперервного розвитку ринку вантажних автомобілів, які використовуються у транспортному забезпеченні агропромислового виробництва (АПВ), а також поступового вдосконалення їх конструкцій, досить часто постає завдання вибору найбільш доцільного з точки зору ефективності вантажного транспортного засобу (ТЗ) для експлуатації. Такий автомобіль повинен характеризуватися сукупністю технічних параметрів, що відповідають специфічним умовам його використання у відповідній сфері діяльності [1-4]. Визначальним фактором формування цих показників є якість вузлів і агрегатів автомобіля, яка проявляється через показники надійності як транспортного засобу в цілому, так і його окремих елементів [6-10]. Водночас найбільш доцільним вважається той автомобіль, експлуатація якого забезпечує максимальний економічний результат з урахуванням витрат на його утримання в умовах АПВ.

Дослідження нормативно-технічних джерел, що регламентують технічну експлуатацію вантажних автомобілів [8], показало, що значна їх частина не зазнавала суттєвого перегляду з дев'яностих років минулого століття, що призводить до виникнення похибок при їх практичному застосуванні. На сьогодні відсутня достатньо повна і впорядкована інформація щодо особливостей експлуатації вантажних автомобілів віком до 10-15 років, що ускладнює процес прийняття рішень користувачами під час вибору транспортних засобів для перевезення вантажів. При цьому чинні нормативи й досі передбачають проведення капітального ремонту (КР) як одного з основних заходів відновлення працездатності. Однак кількість підприємств, здатних забезпечити якісне виконання такого виду ремонту, є обмеженою, що обумовлює його незначне поширення на практиці. Оновлення рухомого складу нерідко здійснюється вже після 4-6 років інтенсивного використання, що може бути пов'язано з недостатнім рівнем виконання робіт з

технічного обслуговування та ремонту (ТО і Р). Сучасні виробники та постачальники, які застосовують високонадійні комплектуючі, встановлюють відповідний рівень цін як на нові автомобілі, так і на запасні частини до них. У разі виникнення відмов під час експлуатації виникають труднощі не лише із забезпеченням необхідними запасними частинами через недостатній розвиток системи матеріально-технічного постачання підприємств АПВ, але й значні фінансові витрати, пов'язані з проведенням ремонтних робіт і придбанням нових компонентів. У результаті транспортний засіб може тривалий час перебувати в зоні технічного обслуговування і ремонту, що призводить до зниження економічної ефективності діяльності підприємства. При використанні поширених моделей вантажних автомобілів забезпечення запасними частинами, як правило, відбувається швидше, а ремонт супроводжується меншими витратами, однак при цьому загальна кількість відмов у процесі експлуатації може бути більшою.

Основною метою функціонування підприємств АПВ є досягнення максимального економічного результату від використання парку вантажних автомобілів, задіяних у виробничих процесах. Підвищення цього показника можливе шляхом збільшення обсягів виконуваних робіт або зменшення витрат, пов'язаних з експлуатаційною діяльністю [5, 11]. Перший напрям визначається умовами ринку, рівнем конкуренції та особливостями маркетингової політики підприємства. Другий напрям залежить від якості організації технічної експлуатації автомобілів, здатності забезпечувати їх справний стан, а також стабільності коефіцієнта технічної готовності та інших показників [10].

Для обґрунтованого вибору вантажних автомобілів, що працюють у конкретних умовах АПВ, необхідно визначити вимоги до їх надійності [10], яка передусім характеризується показниками безвідмовності та ремонтопридатності. Відомо, що досягнення високого рівня безвідмовної роботи забезпечується застосуванням конструкцій, які включають високоточні елементи та здатні ефективно функціонувати в умовах значних експлуатаційних навантажень.

Визначення необхідного рівня безвідмовності для певних умов експлуатації передбачає порівняння сумарних витрат на використання автомобілів із втратами, пов'язаними з їх простоєм під час проведення технічного обслуговування і ремонту. Таким чином, різні умови експлуатації потребують встановлення відповідних показників надійності як комплексної характеристики. Разом з тим підвищення точності виготовлення деталей і вузлів, а відповідно і їх безвідмовності, часто є складним завданням, особливо за умови необхідності збереження належного рівня ремонтопридатності.

На сучасному етапі важливою науково-практичною задачею є проведення комплексної оцінки надійності вантажних автомобілів, що експлуатуються в умовах АПВ. Одним із ключових питань, яке вирішують підприємства, є вибір транспортного засобу, що забезпечує найвищу ефективність роботи в конкретних умовах використання [1, 2, 4, 11]. Важливим фактором при цьому є визначення граничного напрацювання автомобіля, вираженого в роках експлуатації або величині пробігу, після досягнення якого його подальше використання стає економічно недоцільним [5, 10]. Ускладнення вирішення цього завдання пов'язане з обмеженою кількістю практичних даних щодо процесів старіння вантажного автотранспорту, особливо моделей іноземного виробництва, які на сьогодні складають значну частину рухомого складу підприємств АПВ. При цьому виробники в межах гарантійних зобов'язань передбачають експлуатацію автомобілів у межах 100–300 тис. км пробігу або до трьох років роботи залежно від моделі. Разом з тим у реальних умовах експлуатації на підприємствах АПВ вантажні автомобілі використовуються протягом значно триваліших періодів, які можуть у декілька разів перевищувати встановлені гарантійні строки. Це свідчить про здатність таких транспортних засобів зберігати прийнятний рівень надійності навіть при значних напрацюваннях, що відкриває можливості для їх подальшого ефективного використання. Особливо це характерно для вантажних автомобілів закордонного виробництва.

Надлишок різноманітних конструктивних рішень, запропонованих виробниками вантажних автомобілів, разом із постійним удосконаленням їх конструкцій призводить до зменшення рівня уніфікації вузлів і систем та збільшення індивідуальних особливостей і специфіки виконання ремонтних операцій для кожного окремого транспортного засобу. Зазначені чин-

ники зумовлюють зміну показників надійності, підвищують загальну складність конструктивного виконання кожної моделі та спричиняють втрату актуальності раніше накопиченого досвіду щодо визначення ефективного ресурсу автомобілів, які експлуатувалися раніше. У зв'язку з цим попередньо отримані статистичні дані частково втрачають практичну значущість як через конструктивні зміни вантажних автомобілів, так і через формування нових ринкових умов, пов'язаних зі збільшенням кількості конкурентоспроможних транспортних засобів. Також змінюються умови забезпечення запасними частинами для рухомого складу віком понад 10 років, оскільки нові моделі часто не мають достатнього рівня взаємозамінності з автомобілями попередніх поколінь.

Для розв'язання задачі встановлення ефективного ресурсу експлуатації вантажних автомобілів необхідно виконати такі дії: провести аналіз процесів старіння складових елементів транспортного засобу; визначити послідовність зміни технічних станів деталей протягом усього періоду експлуатації; дослідити вплив технічного стану елементів на техніко-економічні показники під час технічної експлуатації.

Початкові показники, за допомогою яких оцінюється ефективність використання вантажного автомобільного транспорту в агропромисловому виробництві, повинні відповідати таким вимогам: бути доступними для визначення, зручними для оцінювання та зрозумілими при подальшому аналізі [3, 4]. Під час визначення ресурсу вантажного автомобіля в науково-технічних джерелах, як правило, застосовується його техніко-економічна оцінка з урахуванням кількості відмов за одиницю часу або на визначений пробіг. У подальшому аналіз інтенсивності потоку відмов дозволяє зробити висновки щодо зміни рівня безвідмовності вантажного автомобіля загалом, його довговічності та, відповідно, надійності. Прогнозоване погіршення цих характеристик негативно впливає на ефективність використання комерційного вантажного транспорту, який додатково залучається для потреб виробничого процесу агропромислового виробництва, оскільки призводить до збільшення тривалості простоїв [5].

У процесі накопичення статистичної інформації встановлюються закономірності зміни техніко-економічних показників, аналіз яких дає змогу визначити не лише середній строк служби вантажного автомобіля за певний період, але й граничні значення показників безвідмовності, перевищення яких свідчить про незадовільний технічний стан транспортного засобу і, відповідно, порушення умов його експлуатації. Існують узагальнені дані щодо зміни показників продуктивності та витрат на її забезпечення залежно від напрацювання вантажних автомобілів [5-9], які можуть використовуватися як базові орієнтири під час визначення оптимальної ефективності експлуатації автомобільного парку (табл. 1).

Таблиця 1 – Зміна показників продуктивності вантажних автомобілів і витрат на її підтримку з напрацюванням [7]

| Час експлуатації автомобіля, років | Річна продуктивність автомобіля, % | Річні витрати на обслуговування та ремонт, % |
|---|---|---|
| 1 | 100 | 100 |
| 4 | 75-80 | 160-170 |
| 8 | 55-60 | 200-215 |
| 12 | 45-50 | 280-300 |
| В середньому | 68-73 | 185-196 |

Практичне визначення тривалості використання рухомого складу найчастіше здійснюється шляхом встановлення нормативу амортизаційних відрахувань, який передбачає поетапне відшкодування вартості транспортного засобу [5]. У більшості випадків цей норматив встановлюється без урахування фактичного технічного стану вантажного автомобіля через обмеженість наявної практичної інформації з цього питання. Подібний підхід до планування може спричинити неповне використання наявного ресурсу автомобіля, що в подальшому призводить до зниження очікуваного економічного ефекту. Таким чином, формування підходу до визначення оптимальної ефективності експлуатації вантажних автомобілів у сучасних умовах функціонування агропромислового виробництва є беззаперечно актуальним завданням.

**Список використаних джерел**

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Дьяченко В.О. Підхід до забезпечення надійності транспортних засобів та системи агропромислового виробництва шляхом оптимізації парку рухомого складу. Матеріали XI Міжнар. науково-практ. конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 15-17.

2. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. та ін. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. Вип. 1(32). С. 36-45.

3. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В. та ін. 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.

4. Войтов В.А., Бережна Н.Г. Удосконалення збирально-транспортного процесу в сільськогосподарській діяльності. Підвищення надійності машин і обладнання: IX Всеукр. наук.-практ. конф., 15-17 квітня 2015 року. Кіровоград, 2015. С. 45-46.

5. Керничний Б.Я. Інноваційні шляхи підвищення ефективності використання автомобільного важковагового транспорту. Проблеми економіки транспорту. Збірник наук. праць ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна, 2016. Вип. 11. С. 31-36.

6. Лисий О.В. Підвищення ефективності експлуатації автомобільних поїздів шляхом управління їх технічним станом: дис... канд. техн. наук: 05.22.20Харків, 2016. 177 с.

7. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: підручник. К.: Знання-Прес, 2003. 511 с.

8 Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Міністерство транспорту України, К.: Офіційний вісник, 1998. 13 с.

9. Сахно В.П., Іванушко О.М. Вплив умов експлуатації та системи технічного обслуговування і ремонту на технічний стан автотранспортних засобів. Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К.: НТУ, 2017. Вип. 1 (37), С. 363-372.

10. Форнальчик Є.Ю., Оліскевич М.С., Мастикаш О.Л. та ін. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: навч. посіб. Львів: Афіша, 2004. 492 с.

11. Циганенко М.О., Дубовик А.В. Рівень використання транспортних засобів в аграрному виробництві за відповідних показників. Матеріали XXI Міжнар. наук. конф. "Сучасні проблеми землеробської механіки", 17-18 жовтня 2020 р. Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 272-273.

***Голуб Дмитро Вадимович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: Dimchik529@gmail.com).

***Аулін Віктор Васильович*** – д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: AulinVV@gmail.com).

***Ювженко Олександр Володимирович*** – аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8, e-mail: 40101001@ gmail.com).

***Holub Dmytro*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: Dimchik529@gmail.com).

***Aulin Viktor*** – Dr. Prof., Professor of the Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: AulinVV@gmail.com).

***Yuvzenko Oleksandr*** – postgraduate student of Department of Operation and Repair of Machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropivnitsky, University Avenue, 8, e-mail: 40101001@ gmail.com).

УДК 656.07:004.8

**Горіна О.М.**

# ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У КОНЦЕПЦІЇ MOBILITY-AS-A-SERVICE

*Анотація. У роботі проаналізовано фізико-технологічні принципи реалізації концепції Mobility-as-a-Service. Особливу увагу приділено радіофізичним аспектам передачі сигналів у стандартах V2X та термодинамічній оптимізації енерговитрат транспортних мереж за допомогою ШІ. Визначено вплив інтелектуального управління на процеси горіння в ДВЗ та зниження емісії NOx. Окреслено перспективи впровадження інновацій у розбудову «розумних міст».*

*Abstract. The paper analyzes the physico-technological principles of the Mobility-as-a-Service concept. Particular attention is paid to the radiophysical aspects of signal transmission in V2X standards and thermodynamic optimization of network energy consumption using AI. The impact of intelligent control on combustion processes in ICE and the reduction of NOx emissions is determined. The prospects for implementing innovations in smart city development are outlined.*

Сучасна глобальна урбанізація поставила перед людством критичний виклик: традиційні моделі транспортного планування більше не здатні впоратися з темпами зростання мегаполісів. Затори, дефіцит паркувальних місць та критичний рівень викидів $CO_2$ змушують шукати радикально нові підходи. Найбільш перспективною інновацією стала концепція Mobility-as-a-Service (MaaS) – «Мобільність як послуга» [1].

MaaS – це зміна парадигми від володіння власним транспортним засобом до споживання інтегрованого транспортного продукту. Основною ідеєю є об'єднання громадського транспорту, каршерінгу, мікромобільності (самокати, велосипеди) та таксі в єдиний цифровий інтерфейс [2]. Проте реалізація такої складної екосистеми неможлива без «цифрового мозку» – Штучного інтелекту (ШІ) та Інтернету речей (IP) [3].

Функціонування такої архітектури потребує не лише надійної фізичної бази передачі сигналів, а й потужних аналітичних інструментів для обробки колосальних масивів даних у режимі реального часу. Саме поєднання радіофізичних методів зв'язку та методів машинного навчання дозволяє створити динамічне середовище управління мобільністю.

1. Технологічний фундамент: ШІ як операційна система міста.

Штучний інтелект у системах MaaS виконує роль глобального диспетчера. На відміну від статичних розкладів минулого, сучасні інтелектуальні транспортні системи (ITC) працюють у режимі реального часу, використовуючи:

- Прогностичну аналітику. Алгоритми машинного навчання обробляють масиви Big Data (історія поїздок, GPS-дані смартфонів, погодні умови, міські події) для прогнозування попиту [3]. Це дозволяє подавати безпілотні шаттли до станцій метро ще до того, як пасажири звідти вийдуть.
- Динамічну маршрутизацію. Замість фіксованих ліній з’являється «транспорт за запитом» (On-Demand Transport). ШІ миттєво коригує шлях руху автобуса, щоб підібрати пасажира в оптимальній точці, мінімізуючи пробіг без навантаження [1].
- Цифрові двійники (Digital Twins). Створення віртуальної копії транспортної мережі міста дозволяє моделювати сценарії (наприклад, перекриття вулиці) та знаходити рішення за частки секунди, запобігаючи транспортному колапсу [5].

Із точки зору фізики управління потоками, ШІ мінімізує хаотичність руху, перетворюючи його на впорядковану ламінарну систему. Динамічна маршрутизація миттєво коригує шлях руху, щоб підібрати пасажира в оптимальній точці, що суттєво зменшує сумарний енергообмін всієї транспортної системи міста.

2. Радіофізика передачі сигналів та сенсорні системи: Технологія V2X.

Еволюція сучасного транспорту базується на впровадженні технології V2X (Vehicle-to-Everything). Це складний комплекс радіофізичних протоколів, що забезпечують безперервний обмін даними між транспортним засобом та оточуючим середовищем. Основними компонентами цієї архітектури є:

- V2V (Vehicle-to-Vehicle). Пряма взаємодія між автомобілями, що базується на обміні динамічними параметрами (вектор швидкості, кут повороту коліс, інтенсивність гальмування). Із точки зору фізики, це створює мережу «колективного інтелекту», де кожна одиниця транспорту стає активним датчиком. Це дозволяє системі ШІ виявляти небезпеку за межами прямої видимості (наприклад, екстрене гальмування авто за заворотом), що радикально знижує ймовірність каскадних ДТП.
- V2I (Vehicle-to-Infrastructure). Взаємодія автомобіля з елементами дорожньої інфраструктури (розумні світлофори, дорожні знаки, метеостанції). Фізична реалізація V2I дозволяє транспортному засобу отримувати дані про стан дорожнього полотна та фази світлофорних об'єктів у реальному часі. Це створює умови для реалізації «зеленої хвилі», де ШІ розраховує оптимальний швидкісний режим для проїзду перехресть без зупинок, що мінімізує енергетичні втрати на подолання інерції спокою.
- V2P (Vehicle-to-Pedestrian). Система виявлення найменш захищених учасників руху – пішоходів та велосипедистів. Використовуючи фізичні принципи поширення радіохвиль зокрема (DSRC (Dedicated Short-Range Communications) – протоколів виділеного зв'язку малої дальності або **C-V2X** (*Cellular Vehicle-to-Everything)* –стільникового зв'язку між транспортними засобами та об'єктами), автомобіль отримує сигнали від смартфонів або «розумних» годинників людей, що знаходяться в «сліпих зонах» або за межами дії оптичних сенсорів. Це дозволяє ШІ «бачити» пішохода крізь фізичні перешкоди (будинки, припарковані авто) завдяки дифракції та відбиттю сигналів, що дає дорогоцінний час для автоматичного гальмування та запобігання наїзду.

Фізична реалізація V2X вимагає використання міліметрового діапазону хвиль (стандарт 5G), що забезпечує наднизьку затримку сигналу (менше 1 мс). У контексті безпеки цей показник є критичним: при швидкості 100 км/год затримка сигналу всього у 100 мс призводить до того, що транспортний засіб долає додаткові 2,7 метра шляху до моменту активації гальмівної системи, що може бути вирішальним уникненням зіткнення. Використання фазованих антенних решіток та технології MIMO (Multiple Input Multiple Output) дозволяє стабільно передавати дані в умовах щільної міської забудови, де спостерігається сильна інтерференція та дифракція радіохвиль. Крім того, ШІ обробляє дані з лідарів (LIDAR), що працюють за принципом активної оптичної локації. Фізика поширення лазерного променя та його відбиття від об'єктів дозволяє будувати 3D-карти середовища з міліметровою точністю, що є основою для безпечної навігації автономного транспорту в складних метеорологічних умовах.

3. Екологічний та соціальний аспект: Фізика міського середовища. Інноваційні транспортні системи є ключем до декарбонізації мегаполісів. Алгоритми MaaS пріоритезують у видачі маршрутів найбільш екологічні варіанти: електробуси, піші прогулянки або велотранспорт. Із точки зору фізики міського середовища, зменшення кількості приватного транспорту призводить до зниження ефекту «острова тепла». Кожен автомобіль із ДВЗ є тепловою машиною з низьким ККД, де більша частина енергії згоряння палива дисипує у вигляді тепла через радіатори та вихлопні системи. Оптимізація трафіку засобами ШІ знижує сумарну теплову потужність, що викидається в приземний шар атмосфери, запобігаючи перегріву вулиць.

Важливим соціальним фактором є зниження рівня акустичного забруднення. Фізика звукових хвиль у щільній забудові створює ефект багаторазового відбиття, що підвищує шумове навантаження на мешканців. Використання MaaS для переходу на електромобільність та плавне регулювання швидкості («зелені хвилі») дозволяє знизити інтенсивність звукового тиску на 10-15 дБ. Крім того, ШІ забезпечує інклюзивність: цифрові асистенти адаптують маршрути для людей з інвалідністю, враховуючи наявність пандусів та ліфтів на станціях у

реальному часі.

4. Енергетична ефективність та фізика «Платунінгу». Важливим аспектом MaaS є оптимізація витрат енергоресурсів [5]. Технологія платунінгу (рух автомобілів щільною колоною під управлінням ШІ) базується на фундаментальних законах аеродинаміки. Коли автомобілі рухаються на мінімальній дистанції (0,5-1 м), опір повітря для всієї колони суттєво зменшується через створення зони низького тиску за лідером, що мінімізує аеродинамічний опір для наступних одиниць. Як фахівці з фізики та хімії горіння, ми розуміємо, що сталий режим руху без різких прискорень забезпечує повне згоряння палива в ДВЗ та оптимальний ККД двигунів. ШІ створює «зелені хвилі», що мінімізує кількість циклів пуску-зупинки. Це критично, оскільки саме під час запуску та прогріву спостерігається неповне згоряння палива, що веде до підвищеної емісії токсичних речовин, зокрема NOx (оксидів азоту). Мінімізація температури згоряння в пікових режимах (через плавне прискорення) дозволяє знизити термічне окиснення азоту, що є ключовим для екологічної безпеки життєдіяльності мегаполіса. Окрім того, інтеграція електромобілів вимагає розрахунку теплових втрат у літій-іонних акумуляторах при швидких циклах розрядки, що також регулюється алгоритмами ШІ.

5. Виклики безпеки та прогнози розвитку. Збір колосальних обсягів персональних даних створює ризики для приватності. Майбутнє MaaS залежить від впровадження кібербезпеки на базі блокчейну та квантового шифрування даних [6]. Із точки зору безпеки життєдіяльності, критичним є захист від «каскадних збоїв»: помилка в алгоритмі ШІ може спричинити резонансний затор у всій мережі. Тому системи MaaS повинні мати фізичне дублювання та автономні локальні контури управління.

Для України впровадження таких систем є стратегічним завданням у рамках післявоєнного відновлення. Проектування міст за стандартами Smart City дозволить інтегрувати MaaS-платформи «з нуля». Використання інтелектуальних систем пожежної безпеки в тунелях, які враховують специфіку горіння металів та електролітів в електрокарах, стане обов'язковим компонентом нових транспортних вузлів.

Інноваційні технології в транспорті – це поєднання високих ІТ-технологій та фундаментальних законів фізики. Концепція Mobility-as-a-Service, підсилена ШІ та сучасними методами радіозв'язку, перетворює транспорт на розумну систему. Подальші дослідження мають зосередитися на розробці фізичних моделей безпечної автономної навігації в умовах аномальних погодних явищ та електромагнітних завад.

**Список використаних джерел**

1. Hensher D. A., Mulley C., Nelson J. D. Mobility as a Service (MaaS): Challenges and Opportunities for Sustainable and Smart Mobility. Elsevier, 2024. 342 p.

2. Європейська Комісія. Стратегія сталої та розумної мобільності — виведення європейського транспорту на шлях майбутнього. EU Publications, 2023. 28 с.

3. Kashyap R. Artificial Intelligence in Intelligent Transportation Systems: Algorithms, Applications and Technologies. CRC Press, 2025. 280 p.

4. Saraswat A., Mittal M. Internet of Vehicles and V2X Communication: Future of Autonomous Transportation. IEEE Press, 2024. 415 p.

5. Світовий банк. Транспорт у «розумному місті»: цифрова інфраструктура для «зелених» міст 2025. Вашингтон: World Bank Group, 2025. 112 с.

6. Statista Research Department. Global Mobility-as-a-Service Market Size & Forecast 2021-2030. Statista, 2024. 52 p.

***Горіна Олена Михайлівна*** – к.п.н., доцент, доцент кафедри фізики та хімії горіння, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, e-mail: olena.gorina.nulp@gmail.com.

***Horina Olena*** – Ph.D. (Pedagogical Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Chemistry of Combustion, Lviv State University of Life Safety, e-mail: olena.gorina.nulp@gmail.com.

УДК 656.13

**Григурко М.І., Діденко Ю.А.**

# СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ТА НАПРЯМИ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

*У роботі розглянуто питання технічного обслуговування автомобілів, а також напрями його удосконалення.*

***Ключові слова:*** *автомобіль, мастила, охолоджувальні рідини, технічне обслуговування, регламенти технічного обслуговування.*

*The paper considers the issue of vehicle maintenance as well as areas for its improvement.*

***Keywords:*** *car, lubricants, coolants, maintenance, maintenance regulations.*

**Основні етапи технічного обслуговування** (далі – ТО) **автомобіля.** Володіння автомобілем вимагає відповідальності та уваги до його стану. Регулярне технічне обслуговування (ТО) є ключовим аспектом збереження безпеки та належної роботи автомобіля. Техогляд включає в себе:

– Заміну оливи та фільтрів. Олива змащує двигун і з часом стирається та втрачає свої властивості. Погане мастило може негативно вплинути на роботу двигуна і навіть призвести до його поломки. Під час заміни оливи також рекомендується міняти масляний фільтр, щоб уникнути захаращення системи масляного кругообігу.

– Перевірку та обслуговування системи охолодження. Вона відповідає за підтримання оптимальної температури двигуна. Під час ТО перевіряють рівень і стан охолоджувальної рідини, а також працездатність вентилятора. Регулярне обслуговування системи охолодження дає змогу уникнути перегрів двигуна, що може призвести до його пошкодження.

– Перевірку та заміну гальмівної системи. Гальмівна система є ключовим елементом безпеки автомобіля. Під час ТО механіки перевіряють стан гальмівних колодок, дисків і гальмівних шлангів. Якщо колодки зношені або диски пошкоджені, їх рекомендується замінити. Також проводиться перевірка гальмівної рідини, оскільки її забруднення може знизити ефективність гальм.

– Перевірку та обслуговування системи підвіски і рульового управління. Ці елементи забезпечують комфортний і стабільний рух автомобіля.

– Діагностику та обслуговування електронних систем. Сучасні автомобілі оснащені різними електронними системами, що контролюють роботу двигуна, трансмісії, систем безпеки та інших компонентів. Під час ТО проводиться діагностика цих систем на предмет помилок і несправностей.

**Регламент ТО та його дотримання.** Виробники автомобілів дають рекомендації щодо того, як часто потрібно проводити технічне обслуговування (ТО). Це дуже важливо, щоб автомобіль працював безпечно і довго. Потрібно дотримуватися графіка ТО, регулярно перевіряти всі важливі частини автомобіля, щоб переконатися, що вони працюють правильно. Це допомагає виявити дрібні проблеми до того, як вони стануть серйозними і дорогими для ремонту. Правильне ТО також допомагає запобігти виникненню аварій, оскільки автомобіль перевірений і справний, а отже, більш безпечний на дорозі. Проводити техогляд автомобіля рекомендується в сертифікованих автосервісах, оскільки там працюють досвідчені та професійні механіки, здатні правильно визначити і виправити проблему. Сертифіковані автосервіси використовують оригінальні запчастини та спеціальне обладнання, що гарантує високу якість роботи і відповідність стандартам виробника.

**Обов'язковий технічний огляд (техогляд) автомобіля.** Які автомобілі підлягають техогляду? Транспортні засоби звільняються від обов'язкового технічного огляду, якщо:

– не перевищують швидкість пересування 25 км/год;

– використовуються на загальнодоступних дорогах;
– мають двигун об'ємом менше 125 см³ або електромотор потужністю не більше 4 кВт;
– були суттєво перероблені.

**Частота та порядок проходження обов'язкового техогляду.** Незалежно від дати реєстрації обов'язковий технічний огляд повинні пройти всі транспортні засоби протягом 10 днів після перереєстрації. Проходять ТО автомобілі, що потрапили в ДТП та отримали пошкодження на елементах, які впливають на безпеку пересування, і мають суттєво деформований кузов. Обов'язковий техогляд в Україні і для автомобілів, які мають серйозні неполадки під час водіння. ТО легкових автомобілів з місткістю до 9 пасажирів проводиться не пізніше ніж через 4 роки після дати першої реєстрації, а потім кожні 2 роки. Автомобілі, що використовуються для комерційних цілей, мають проходити техогляд щорічно.

**Важливість регулярного ТО для збереження безпеки та належної роботи автомобіля.** Регулярне технічне обслуговування (ТО) автомобіля є це дуже важливим. Автомобіль потребує своїх "оглядів", щоб працювати безпечно і справно. Оскільки під час техогляду механіки перевіряють різні частини автомобіля (двигун, гальма, підвіска та інші важливі системи), це дає змогу своєчасно виявить дрібні проблеми, які, якщо їх не виправити вчасно, згодом можуть стати дуже серйозними. Також регулярне ТО допомагає продовжити життя автомобіля. Техогляд – це турбота про машину, завдяки якій вона працює краще і довше. Механіки міняють масло і фільтри, що допомагає захистити двигун від зносу. Вони перевіряють рівень рідин, щоб переконатися, що все гаразд, і роблять інші важливі речі, щоб автомобіль залишався в хорошому стані. Найголовніше – регулярне ТО допомагає забезпечити безпеку на дорозі. Коли всі частини автомобіля працюють справно, ризик виникнення аварій знижується, оскільки керування автомобілем є безпечним.

***Григурко Михайло Іванович*** – викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3136, e-mail: kvp-mig@ukr.net)

***Діденко Юрій Анатолійович*** – викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3136, e-mail: kvp-mig@ukr.net)

***Hryhurko Mykhailo Ivanovych*** – lecturer at the Department of Military Training of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic St., room 3136, e-mail: kvp-mig@ukr.net)

***Didenko Yuriy Anatoliyovych*** – lecturer at the Department of Military Training of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic St., room 3136, e-mail: kvp-mig@ukr.net)

УДК621.91.678,621.891

**Гупка А.Б., Хорошун Р.В., Слободян Л.М.**

# ОЦІНКА ТРИБОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПОРІЗКИ АВТОШИН

*Розглянуто проблему ефективного використання вторинної сировини, зокрема автотракторних шин, в умовах зростання вартості ресурсів. Проаналізовано існуючі способи порізки гумово-металічних виробів та їх недоліки. Запропоновано конструкцію верстата і технологічну схему різання шин з урахуванням їх будови. Описано особливості базування заготовок і конструкції різального інструменту. Обґрунтовано оптимальні режими обробки та параметри інструмента. Встановлено раціональний діапазон кута загострення, що забезпечує ефективність і довговічність різання.*

*The problem of effective use of secondary raw materials, in particular auto-tractor tires, in the conditions of increasing resource costs is considered. The existing methods of cutting rubber-metal products and their shortcomings are analyzed. The design of the machine and the technological scheme of cutting tires are proposed, taking into account their structure. The features of basing the workpieces and the design of the cutting tool are described. The optimal processing modes and tool parameters are substantiated. A rational range of the sharpening angle is established, which ensures the efficiency and durability of cutting.*

Питання раціонального використання сировинних ресурсів в Україні на сучасному етапі розвитку господарського комплексу є надзвичайно актуальним, особливо в умовах постійного зростання вартості енергоносіїв і матеріалів. У зв'язку з цим пріоритетним стає підхід, за якого застосування первинної сировини допускається лише після максимально можливого використання вторинних ресурсів. Важливу роль у цьому відіграє повторне використання полімерних матеріалів, армованих тканинним і металевим кордом, що широко застосовуються в агропромисловому секторі у вигляді автомобільних шин. При цьому доцільно надавати перевагу технологіям, які не потребують складних фізико-хімічних перетворень і забезпечують швидке та економічне виготовлення виробів — таких як кільця, ободи, опори, амортизатори, канатні та інші шківи — шляхом механічного розрізання відпрацьованих автотракторних шин на спеціалізованому обладнанні.

Існують верстати для різання гумово-металевих виробів, оснащені дисковими інструментами типу пил, приводами обертання та механізмами подачі заготовки у вигляді приводних роликів [1, 2]. Також відомі методи, при яких шина рухається відносно фрези, тоді як інструмент здійснює обертання навколо власної осі та радіальне переміщення відносно шини.

Проте такі способи мають суттєві недоліки, зокрема вони не забезпечують ефективного різання нежорстких виробів кільцевої форми з армованим металевим кордом, до яких належать автомобільні шини. Крім того, при їх застосуванні не враховуються конструктивні особливості шин, що включають каркас, брекер, боковини та залишковий шар протектора. У процесі різання важливо враховувати, що каркас шин має певну міцність і гнучкість, складається з кількох шарів прогумованого або армованого корда, який може бути розташований як у діагональному, так і в радіальному напрямках.

У каркасах діагональних шин нитки корду розташовані з перетином під кутом 95…115°, тоді як у радіальних шинах вони орієнтовані по радіусу — від борта до борта — і не пересікаються між собою. Така конструктивна відмінність зумовлює зменшення кількості шарів у радіальних шинах, що, у свою чергу, спрощує процес їх механічного розрізання та знижує енергетичні витрати. Під час порізки шин необхідно також враховувати наявність брекера — спеціального резинотканинного прошарку, розташованого між каркасом і протектором по всьому периметру. Його зовнішня поверхня має нерівномірний рельєф у вигляді залишкових виступів і впадин, що впливає на стабільність процесу різання та навантаження на інструмент.

З метою забезпечення ефективного та технологічно обґрунтованого процесу порізки автошин, із урахуванням їх конструктивних особливостей, було розроблено і виготовлено удосконалену конструкцію верстата. Крім того, запропоновано раціональну технологічну схему закріплення та базування заготовок, обґрунтовано конструкцію різального інструменту та визначено оптимальні режими обробки. Усі ці заходи спрямовані на підвищення продуктивності, зниження зносу інструмента та забезпечення стабільної якості отриманих заготовок [3, 4, 5].

На рис. 1 наведено технологічну схему процесу порізки автошин. У верхній частині установки змонтовано механізм різання, який має можливість осьового переміщення. До його складу входить мотор-редуктор (1) та різальні дискові ножі (2) з одностороннім заточуванням, які закріплені на привідному валу електродвигуна. Механізм різання жорстко з'єднаний зі штоком пневмоциліндра, що забезпечує його переміщення вздовж осі та дозволяє здійснювати регульовану подачу інструмента в зону різання. Для керування процесом порізки, а також для точного налаштування глибини обробки застосовується спеціальний механізм із пневморегулятором, який дає можливість змінювати параметри процесу залежно від характеристик шини.

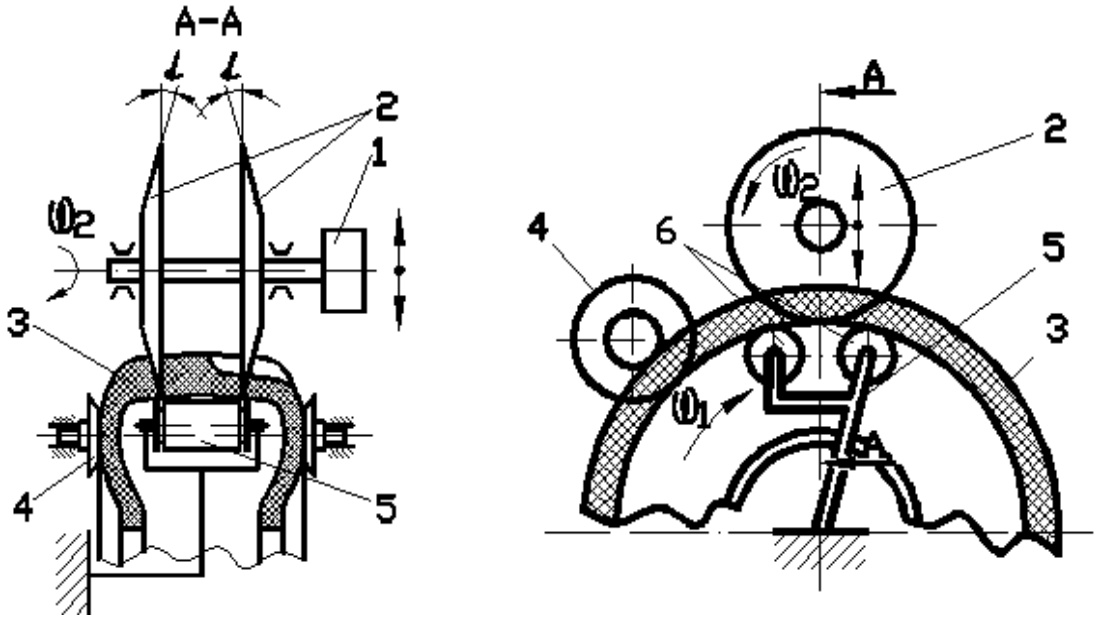



Рисунок 1 – Технологічна схема порізки автошин

У нижній частині конструкції розташований двоплечовий важіль (5), на якому паралельно встановлено установочні та базувальні ролики (6). Вони мають можливість вільного обертання завдяки встановленню в підшипникових вузлах, що зменшує втрати на тертя та забезпечує плавність руху заготовки. Безпосередньо на ці ролики встановлюється автошина (3), яка фіксується та притискається за допомогою двохдискового центрувального механізму (4). Така схема базування дозволяє забезпечити надійне утримання шини під час обробки та рівномірність її обертання.

Конструктивною особливістю роликів є наявність спеціальних канавок, призначених для проходу різального інструменту. Відстань між канавками відповідає ширині вирізаної смуги матеріалу, що забезпечує точність геометричних параметрів заготовки. Профіль канавок узгоджений із профілем різальних дисків, що сприяє стабільності процесу різання та запобігає пошкодженню інструмента. Водночас зазор між ріжучим елементом (фрезою або диском) і канавкою встановлюється в межах 3–5% від сумарної товщини каркасу, брекера та залишкового шару протектора. Такий інтервал є оптимальним, оскільки забезпечує достатній простір для проходу інструмента без заклинювання, водночас зберігаючи точність і якість обробки.

Додатково слід зазначити, що правильний вибір геометричних параметрів роликів і їх

взаємного розташування суттєво впливає на стабільність базування шини, рівномірність подачі та зниження динамічних навантажень у зоні різання. Це, у свою чергу, позитивно впливає на довговічність обладнання та якість отриманих виробів.

З метою підвищення технологічної гнучкості процесу та забезпечення якісної порізки автотракторних шин із нежорсткою структурою, що здійснюють круговий рух, запропоновано схему різання на стрічки (рис. 2). Реалізація процесу досягається за рахунок поєднання кількох кінематичних рухів: обертання різального інструмента 1 навколо власної осі, його радіальної подачі та переміщення шини 5 по колу. Останнє забезпечується силами тертя, що виникають між боковими поверхнями інструмента і матеріалом шини, а також дією радіальної складової сили різання. Додатково стабільність руху досягається завдяки базуванню шини на двох опорних циліндричних роликах 8 і центральному ролику 6, що формує необхідну геометрію контакту.

Відокремлення боковин шини може здійснюватися за допомогою двох різальних інструментів, закріплених на спільній оправці на однаковій відстані від осі симетрії шини. Це дозволяє одночасно виконувати симетричне обрізання країв. Розрізання ж центральної частини здійснюється одним інструментом, що забезпечує формування стрічкового матеріалу заданої ширини.

Конструкція різального інструмента має ряд важливих особливостей. Він виконаний у вигляді диска, встановленого на маточині 2, із гладкою конічною поверхнею, заточеною до мінімальної товщини по зовнішньому діаметру. Така форма сприяє зменшенню опору різанню та підвищенню точності обробки. До бокових поверхонь диска за допомогою потайних заклепок 4 приєднані фрикційні накладки 3. Їх внутрішній діаметр перевищує зовнішній діаметр маточини, а зовнішній — є меншим за діаметр диска на 3–5 мм. На торцевих поверхнях фрикційних елементів виконано насічки, що підвищують коефіцієнт тертя між інструментом і шиною, забезпечуючи стабільне захоплення та рівномірність подачі матеріалу в зону різання.

Базування шини здійснюється на центральному опорному ролику, в середній частині якого виконано спеціальний паз 7, що виконує функцію матриці. Його форма відповідає профілю різального диска, що забезпечує точне позиціонування інструмента відносно заготовки та підвищує якість різу. Така конструкція дозволяє мінімізувати відхилення геометричних параметрів отриманих стрічок.

Додатковою особливістю інструмента є виконання фрикційних накладок із мінімальною товщиною в напрямку до зовнішнього діаметра, що разом із диском формує необхідний кут загострення по всьому колу. Це сприяє рівномірному розподілу навантаження по ріжучій кромці та підвищує ефективність процесу різання.

Відомо, що кут загострення інструмента $\alpha$ є одним із ключових параметрів, який суттєво впливає на енергоємність процесу та довговічність інструмента. Збільшення цього кута понад оптимальне значення призводить до зростання сил різання і, відповідно, підвищення енергоспоживання. У той же час його зменшення викликає інтенсивне зношування, викришування ріжучої кромки та зниження стійкості інструмента, що може спричинити його передчасне руйнування.

Проведений аналіз значень кутів загострення, які застосовуються при обробці матеріалів у шинній та шкіряній промисловості, а також результати експериментальних досліджень із урахуванням властивостей матеріалу інструмента, його твердості та режимів різання дозволили визначити раціональний діапазон цього параметра. Встановлено, що оптимальні значення кута загострення знаходяться в межах 15–20°, при яких досягається найкраще співвідношення між енергоефективністю процесу та стійкістю різального інструмента.

Обґрунтовано актуальність використання вторинної сировини, зокрема відпрацьованих автотракторних шин, як ефективного напряму ресурсозбереження в умовах зростання вартості матеріалів та енергоносіїв. Проаналізовано існуючі способи різання гумово-металевих виробів і встановлено їх обмеження при обробці нежорстких кільцевих виробів з армованим кордом. Враховано конструктивні особливості автошин (каркас, брекер, протектор), що дозволило

підвищити ефективність технологічного процесу порізки.

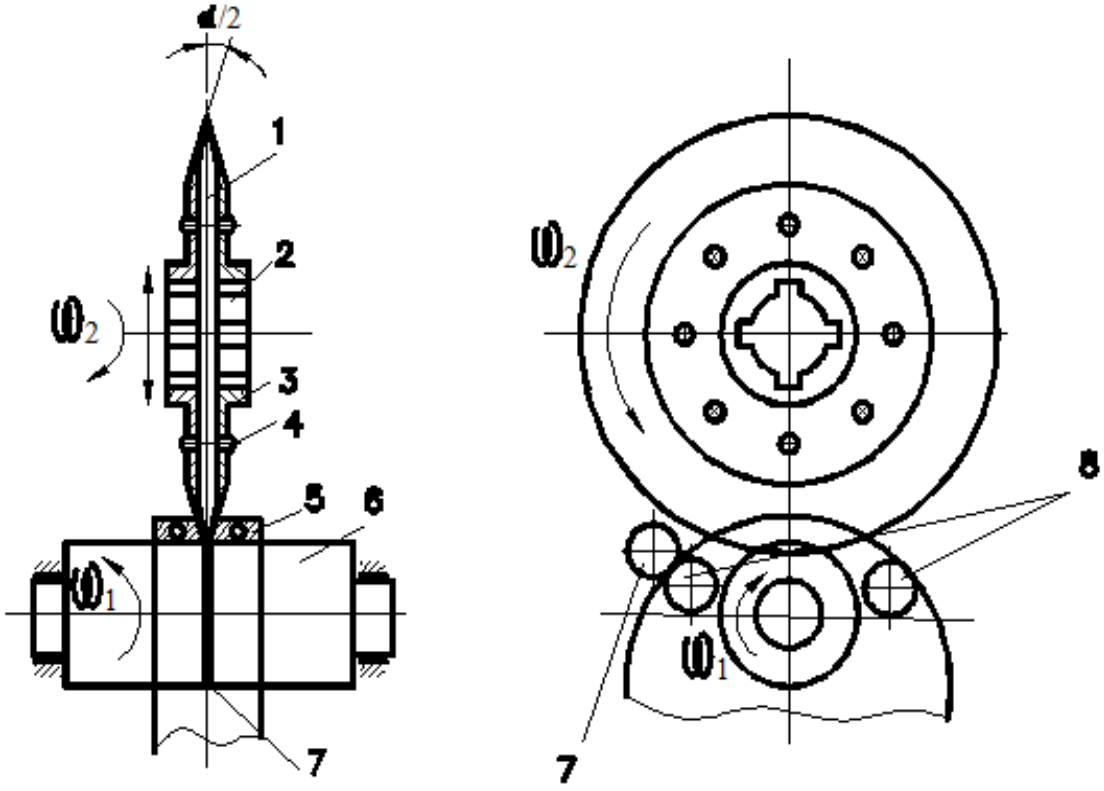



Рисунок 2 – Спосіб порізки на стрічки

Розроблено та запропоновано удосконалену конструкцію верстата, схему базування заготовки та конструкцію різального інструменту, що забезпечують стабільність процесу та якість обробки. Запропоновано спосіб різання шин на стрічки з урахуванням взаємодії сил тертя та радіальних навантажень, що розширює технологічні можливості обладнання.

Встановлено оптимальний діапазон кута загострення різального інструмента (15–20°), при якому досягається найкраще співвідношення між енергоефективністю процесу та стійкістю інструмента. За результатами дослідження підтверджено доцільність використання запропонованих технічних рішень для підвищення ефективності переробки шин та отримання якісних вторинних матеріалів.

**Список використаних джерел**

1. Forrest M. J. *Recycling and re-use of waste rubber*. Berlin : Walter de Gruyter, 2019. 216 p.
2. Xiao Z., Pramanik A., Basak A. K., Prakash C. Material recovery and recycling of waste tyres: a review // Cleaner Materials. 2022. Vol. 5.
3. Castillo R., Alva A., París-Viviana O., Bosch M. Use of waste rubber tyres in construction materials: a bibliometric review // Polymers. 2025. Vol. 17, № 18.
4. Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations // Resources, Conservation and Recycling. 2020. Vol. 155.
5. Waste rubber recycling: a review on the evolution and properties of thermoplastic elastomers // Polymers. 2020. Vol. 12, № 2.

***Гупка Андрій Богданович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автотранспорту та логістики, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: gypkab@gmail.com

***Хорошун Роман Васильович*** – Ph.D.., заступник завідувача кафедри автотранспорту та логістики, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: roman_086@ukr.net

***Слободян Любомир Михайлович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автотранспорту та логістики, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: slobodyanlybchik48@gmail.com

***Gypka Andrii*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Motor Transport and Logistics, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, e-mail: gypkab@gmail.com

***Roman Khoroshun*** – Ph.D., Deputy Head of the Department of Motor Transport and Logistics, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, e-mail: roman_086@ukr.net

***Lyubomyr Slobodyan*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Motor Transport and Logistics, Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, e-mail: slobodyanlybchik48@gmail.com

УДК 629.331:658.5

**Дембіцький В.М., Боярський Н.Р.**

# АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ ФОРМУВАННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТЕЙ СТО ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

*Розглянуто актуальність розробки методу техніко-економічного розрахунку виробничих потужностей станцій технічного обслуговування для електромобілів та гібридних автомобілів з урахуванням зарядної інфраструктури. Обґрунтовано, що зростання парку електрифікованих транспортних засобів потребує вдосконалення підходів до планування сервісних підприємств, визначення їх виробничих можливостей, потреби в обладнанні, персоналі та енергозабезпеченні. Показано, що зарядна інфраструктура є важливою складовою виробничої системи сучасної СТО та має враховуватися під час техніко-економічних розрахунків. Визначено наукову й практичну значущість досліджень у цьому напрямі для розвитку автосервісу в умовах поширення електромобільності.*

***Ключові слова:*** *електромобіль, гібридний автомобіль, станція технічного обслуговування, виробничі потужності, техніко-економічний розрахунок, зарядна інфраструктура, автосервіс, технічна експлуатація.*

*The relevance of developing a method for the feasibility study of production capacities of service stations for electric and hybrid vehicles, taking into account the charging infrastructure, is considered. It is substantiated that the growth of the fleet of electrified vehicles requires improving approaches to planning service enterprises, determining their production capabilities, needs for equipment, personnel and energy supply. It is shown that the charging infrastructure is an important component of the production system of a modern service station and should be taken into account during feasibility studies. The scientific and practical significance of research in this area for the development of car service in the conditions of the spread of electromobility is determined.*

***Key words:*** *electric car, hybrid car, service station, production facilities, feasibility study, charging infrastructure, car service, technical maintenance.*

Світовий розвиток електромобільності зумовлює необхідність переосмислення підходів до формування сервісної інфраструктури автомобільного транспорту. За даними IEA, у 2024 році глобальні продажі електромобілів перевищили 17 млн одиниць, а частка електричних автомобілів у світових продажах нових авто перевищила 20%. Одночасно швидко зростає й зарядна інфраструктура: лише протягом 2024 року у світі було введено понад 1,3 млн нових публічних зарядних точок, а в Європі їх кількість перевищила 1 млн. Це означає, що електромобіль уже не є нішевим транспортним засобом, а перетворюється на масовий об’єкт технічної експлуатації, для якого необхідні нові організаційні та економічні рішення щодо сервісного обслуговування [1, 2].

Для України ця проблематика є особливо актуальною. Дослідження українських авторів засвідчують, що розвиток електромобілів в Україні відбувається прискореними темпами, а ефективне функціонування цього сегмента потребує не лише збільшення кількості транспортних засобів, а й створення повноцінної екосистеми їх експлуатації: мережі зарядних станцій, спеціалізованих сервісних підприємств, підготовленого персоналу, а також рішень щодо забезпечення потужності електричних мереж [3]. Водночас в українських публікаціях наголошується, що сучасні системи заряджання дедалі частіше розглядаються не ізольовано, а в поєднанні з відновлюваними джерелами енергії, накопичувачами та засобами інтелектуального керування навантаженням, що безпосередньо впливає на структуру та параметри виробничих потужностей СТО [4].

На відміну від традиційних СТО для автомобілів з ДВЗ, сервіс підприємств, орієнтованих на електромобілі та гібридні автомобілі, характеризується іншою номенклатурою робіт,

іншими вимогами до оснащення й безпеки, а також необхідністю врахування зарядної інфраструктури як складової виробничої системи. У таких умовах зарядні пости вже не можна розглядати лише як допоміжний елемент: вони впливають на планування потоків клієнтів, тривалість перебування автомобіля на підприємстві, енергетичне навантаження, використання площ, структуру інвестицій та експлуатаційних витрат. Окреме значення мають роботи з високовольтними системами, діагностикою тягових батарей, системами терморегулювання та силовою електронікою, що вимагає спеціального обладнання, кваліфікації персоналу та дотримання підвищених вимог безпеки [5, 6].

Сучасні міжнародні огляди показують, що дослідження інфраструктури електромобільності переважно зосереджені на задачах розміщення зарядних станцій, їх потужності, режимах заряджання, взаємодії з електричними мережами та поведінці користувачів. Зокрема, підкреслюється, що недостатня пропускна здатність зарядної інфраструктури й так звана «range anxiety» залишаються суттєвими бар'єрами для широкого поширення електромобілів. Крім того, у новіших оглядових працях вказано на наявність невирішених питань: бракує уніфікованих методик багатокритеріальної оптимізації, недостатньо інтегруються дані реальної експлуатації, а ринки, що розвиваються, залишаються менш дослідженими [5, 7].

Попри значну кількість досліджень із планування зарядної інфраструктури, наукова проблема розрахунку саме виробничих потужностей СТО, що обслуговують електромобілі та гібридні автомобілі, опрацьована недостатньо. У більшості робіт домінує або енергетичний підхід, де зарядна станція розглядається як об'єкт електроспоживання, або транспортно-логістичний підхід, де увага приділяється вибору локацій та кількості зарядних постів. Натомість для практики автосервісу необхідний комплексний техніко-економічний підхід, який би одночасно враховував виробничу програму СТО, структуру попиту на сервісні послуги, тривалість технологічних операцій, частку зарядних послуг у загальному циклі обслуговування, потребу в площах, персоналі, обладнанні, встановленій електричній потужності, а також капітальні й експлуатаційні витрати [5, 7, 8].

Актуальність теми дослідження посилюється також тим, що електромобілі та гібридні автомобілі мають іншу структуру витрат протягом життєвого циклу, ніж традиційні транспортні засоби. У відкритих дослідженнях наголошується, що оцінювання ефективності експлуатації не може обмежуватися лише порівнянням енерговитрат; необхідно враховувати витрати на сервіс, ремонти, безпеку експлуатації, відмови та особливості організації технічного обслуговування. Для СТО це означає, що метод розрахунку потужностей має бути економічно обґрунтованим і придатним для вибору раціональної конфігурації підприємства залежно від очікуваної структури парку та інтенсивності попиту [6].

Таким чином, розробка методу техніко-економічного розрахунку виробничих потужностей СТО для електромобілів та гібридних автомобілів з урахуванням зарядної інфраструктури є своєчасним і науково значущим завданням. Практична цінність такого методу полягає у можливості обґрунтованого визначення кількості постів технічного обслуговування й заряджання, параметрів енергозабезпечення, потреби в обладнанні та персоналі, а також оцінювання економічної доцільності створення чи модернізації спеціалізованих СТО. Наукова новизна очікується в поєднанні технологічних, експлуатаційних, енергетичних та економічних факторів у єдиній розрахунковій моделі, адаптованій до сучасних умов розвитку електромобільності в Україні.

**Список використаних джерел**

1. International Energy Agency. Global EV Outlook 2025 [Електронний ресурс]. Paris : IEA, 2025. URL: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025 (Дата звернення: 23.03.2026).

2. International Energy Agency. Electric vehicle charging [Electronic resource] // Global EV Outlook 2025. 2025. URL: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/electric-vehicle-charging (Дата звернення: 23.03.2026).

3. Pivnyak G., Olishevska V., Olishevskiy H., Lutsenko I., Lysenko A., Sala D. Comprehensive

study on electric vehicles and infrastructure for sustainable development in Ukraine // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 567. Art. 01025. DOI: 10.1051/e3sconf/202456701025. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2024/97/e3sconf_pcgt2024_01025/e3sconf_pcgt2024_01025.html (Дата звернення: 23.03.2026).

4. Терешенко А. М. Аналіз сучасних систем заряджання електротранспорту з використанням ВДЕ та акумуляторних батарей // Відновлювана енергетика. 2025. № 3(82). С. 55–64. DOI: 10.36296/1819-8058.2025.3(82).55-64. URL: https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/549 (Дата звернення: 23.03.2026).

5. Unterluggauer T., Rich J., Andersen P. B., Hashemi S. Electric vehicle charging infrastructure planning for integrated transportation and power distribution networks: A review // eTransportation. 2022. Vol. 12. Art. 100163. DOI: 10.1016/j.etran.2022.100163. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590116822000091 (Дата звернення: 23.03.2026).

6. Krzyżewska I., Chruzik K. Maintenance and Exploitation of Electric, Hybrid, and Internal Combustion Vehicles // Energies. 2023. Vol. 16, no. 23. Art. 7842. DOI: 10.3390/en16237842. URL: https://www.mdpi.com/1996-1073/16/23/7842 (Дата звернення: 23.03.2026).

7. Aarabi M. S., Khanahmadi M., Awasthi A. A Literature Review on Strategic, Tactical, and Operational Perspectives in EV Charging Station Planning and Scheduling // World Electric Vehicle Journal. 2025. Vol. 16, no. 7. Art. 404. DOI: 10.3390/wevj16070404. URL: https://www.mdpi.com/2032-6653/16/7/404 (Дата звернення: 23.03.2026).

8. International Energy Agency. Global EV Outlook 2025: datafile [Електронний ресурс]. 2025. URL: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2025 (Дата звернення: 23.03.2026).

***Дембіцький Валерій Миколайович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету (43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ауд. 342, e-mail: dvm@meta.ua).

***Боярський Назарій Романович*** – аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету (43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ауд. 342, e-mail: nazar.boiarskyi@vw.lutsk.ua).

***Valerii Dembitskyi*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Transport Technologies, Lutsk National Technical University (43018, Lutsk, Lvivska Street, 75, room 342, e-mail: dvm@meta.ua).

***Nazariy Boyarskiy*** – Postgraduate Student of the Department of Automobile Transport and Transport Technologies, Lutsk National Technical University (43018, Lutsk, Lvivska Street, 75, room 342, e-mail: nazar.boiarskyi@vw.lutsk.ua).

УДК 656.13:656.078

**Демчина В.Р., Баляш А.О.**

# ІНТЕГРАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ ЛОГІСТИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

*Дослідження інтеграції інтелектуальних систем моніторингу транспорту дозволило обґрунтувати їх роль у підвищенні безпеки та ефективності міських логістичних перевезень. Встановлено, що використання цифрових технологій, систем моніторингу та аналітики даних забезпечує зниження аварійності, оптимізацію транспортних потоків і скорочення часу доставки.*

***Ключові слова:*** *інтелектуальні транспортні системи, міська логістика, безпека транспорту, smart mobility, цифровізація, транспортна інфраструктура.*

*The study of the integration of intelligent transport monitoring systems made it possible to substantiate their role in improving the safety and efficiency of urban logistics transportation. It has been established that the use of digital technologies, monitoring systems and data analytics contributes to reducing accident rates, optimizing traffic flows and shortening delivery times.*

***Key words:*** *intelligent transport systems, urban logistics, transport safety, smart mobility, digitalization, transport infrastructure.*

Сучасний розвиток міських агломерацій супроводжується активною цифровізацією транспортної інфраструктури та зростанням інтенсивності транспортних потоків, що ускладнює управління логістичними процесами. Наявність системних проблем, зокрема високого рівня дорожньо-транспортних пригод, заторів і неефективного використання ресурсів, зумовлює необхідність впровадження сучасних технологічних рішень. У цих умовах інтелектуальні транспортні системи виступають ключовим інструментом підвищення безпеки, ефективності та керованості міських перевезень [1]. Особливої актуальності зазначена проблематика набуває в Україні, де в умовах воєнних викликів транспортна інфраструктура повинна забезпечувати не лише мобільність, а й безпеку населення та доступність послуг для вразливих груп. Це зумовлює потребу в інтеграції інтелектуальних систем моніторингу транспорту як основи формування стійкої та інклюзивної міської логістики.)

Інтелектуальні транспортні системи (Intelligent Transport Systems, ITS) є сукупністю цифрових технологій, інформаційних платформ та технічних засобів, інтегрованих у транспортну інфраструктуру з метою підвищення безпеки, ефективності та керованості транспортних процесів [2]. Їх функціонування базується на використанні сенсорних мереж, систем обробки даних, телекомунікаційних технологій і аналітичних алгоритмів, що забезпечують отримання та аналіз інформації в режимі реального часу. Основною функцією ITS є моніторинг транспортних потоків, який передбачає збір даних про інтенсивність руху, швидкість транспортних засобів, дорожні умови та виникнення інцидентів. Це дозволяє оперативно виявляти проблемні ділянки та забезпечувати своєчасне реагування на аварійні ситуації [3]. Важливим напрямом є управління дорожнім рухом, що реалізується через адаптивні системи регулювання світлофорів, диспетчеризацію громадського транспорту та оптимізацію транспортних потоків. Використання таких рішень сприяє зменшенню заторів, підвищенню пропускної здатності доріг і покращенню логістичних процесів у міському середовищі [4]. Окрім цього, ITS забезпечують прогнозування транспортних процесів на основі аналізу історичних і поточних даних. Застосування аналітичних моделей і алгоритмів дозволяє передбачати навантаження на транспортну мережу, оптимізувати маршрути перевезень та підвищувати ефективність управлінських рішень [5]. Таким чином, інтеграція інтелектуальних транспортних систем забезпечує фор-

мування безпечного, адаптивного та ефективного міського транспортного середовища, що базується на використанні цифрових технологій, аналітики даних та оперативного управління транспортними потоками. Водночас для обґрунтування ефективності впровадження ITS необхідним є застосування системного підходу до їх оцінювання, який дозволяє комплексно врахувати безпекові, логістичні, соціальні та екологічні аспекти функціонування транспортної інфраструктури. З цією метою доцільно сформувати систему показників, що відображає ключові результати використання інтелектуальних транспортних систем у міському середовищі (табл. 1).

Таблиця 1 – Система показників оцінювання інтелектуальних транспортних систем

| Група показників | Ключові індикатори | Аналітична інтерпретація впливу ITS |
|---|---|---|
| Безпека | рівень ДТП; час реагування на інциденти | зниження аварійності за рахунок моніторингу та автоматичного виявлення інцидентів; скорочення часу реагування служб |
| Ефективність | середній час доставки; швидкість руху транспорту | оптимізація маршрутів і потоків руху, зменшення заторів та підвищення пропускної здатності дорожньої мережі |
| Інтелектуалізація | покриття сенсорами та камерами; точність прогнозування трафіку | формування цифрової інфраструктури управління транспортом та підвищення обґрунтованості управлінських рішень |
| Соціальні | доступність транспорту для населення | забезпечення інклюзивності транспортної системи, покращення умов мобільності для вразливих груп населення |
| Екологічні | рівень викидів $CO_2$ та витрати палива | зменшення екологічного навантаження завдяки оптимізації руху та зниженню простоїв транспорту |

*Джерело: складенно на основі [1-5]*

Представлена система показників дозволяє комплексно оцінити ефективність функціонування інтелектуальних транспортних систем за ключовими напрямами. Зокрема, безпековий блок характеризує здатність систем знижувати рівень аварійності та підвищувати оперативність реагування на інциденти. Показники ефективності відображають вплив ITS на оптимізацію логістичних процесів, зокрема скорочення часу доставки та зменшення заторів. Важливе значення має також інтелектуалізація транспортної інфраструктури, що проявляється у розширенні покриття сенсорними мережами та підвищенні точності прогнозування транспортних потоків, що забезпечує обґрунтованість управлінських рішень [4]. Окремо слід виділити соціальні та екологічні аспекти, які відображають підвищення доступності транспортних послуг та зниження негативного впливу на довкілля. Такий підхід дозволяє розглядати ITS не лише як технологічний інструмент, а як комплексну систему забезпечення безпеки, ефективності та сталого розвитку міського середовища [6].

З метою узагальнення результатів впливу інтелектуальних систем моніторингу транспорту на ключові показники функціонування міської логістики доцільно проаналізувати зміни, що відбуваються внаслідок їх впровадження (табл. 2).

Проведений аналіз свідчить, що впровадження інтелектуальних систем моніторингу транспорту забезпечує комплексний позитивний ефект, який проявляється у зниженні рівня дорожньо-транспортних пригод, скороченні часу реагування на інциденти та оптимізації транспортних потоків. Водночас спостерігається зменшення тривалості перевезень і витрат ресурсів, що підвищує ефективність міської логістики. Окремого значення набуває підвищення доступності транспортних послуг, що сприяє соціальній інклюзії та покращенню якості міського середовища. Таким чином, інтелектуальні транспортні системи виступають важливим інструментом забезпечення безпеки, ефективності та сталого розвитку міської інфраструктури.

Таблиця 2 – Вплив інтелектуальних систем моніторингу на показники міської логістики

| Показник | Стан до впровадження ITS | Зміни після впровадження | Аналітичний ефект |
|---|---|---|---|
| Рівень дорожньо-транспортних пригод | Високий рівень аварійності, обмежений контроль | Зниження кількості інцидентів | Підвищення безпеки за рахунок постійного моніторингу та попередження ризиків |
| Час реагування служб | Тривалий, залежить від людського фактору | Скорочення часу реагування | Оперативне виявлення інцидентів та автоматизація передачі інформації |
| Рівень заторів | Значні затримки, нерівномірний рух | Зменшення заторів | Оптимізація транспортних потоків та адаптивне управління трафіком |
| Час доставки | Нестабільність маршрутів і графіків | Скорочення часу перевезень | Підвищення ефективності логістичних процесів |
| Витрати палива | Високі через простої та перевантаження | Зниження витрат | Економія ресурсів і зменшення експлуатаційних витрат |
| Доступність транспорту | Обмежена, нерівномірна | Підвищення доступності | Покращення мобільності населення та інклюзивності транспортних послуг |

*Джерело: складенно на основі [4-6]*

Разом із тим, розвиток інтелектуальних транспортних систем в Україні має специфічні особливості, зумовлені сучасними воєнними викликами, що трансформують функціональне призначення таких систем та розширюють їх роль у забезпеченні безпеки населення (табл. 3).

Таблиця 3 – Особливості розвитку інтелектуальної мобільності в умовах воєнних викликів

| Напрям трансформації | Традиційна модель функціонування ITS | Трансформація в умовах воєнного часу | Аналітичний акцент |
|---|---|---|---|
| Цільова орієнтація | Оптимізація транспортних потоків | Забезпечення безпеки та доступності | Переорієнтація з ефективності на безпеку життєдіяльності |
| Функціональні можливості | Управління дорожнім рухом, диспетчеризація | Alerts, моніторинг ризиків, інформування населення | Розширення функцій its до систем управління ризиками |
| Інформаційна база | Дані про трафік, завантаженість доріг | Дані про повітряні тривоги, стан інфраструктури | Інтеграція транспортних і безпекових даних |
| Пріоритети розвитку | Комфорт та швидкість пересування | Виживання, безпека та інклюзія | Зміна ціннісних орієнтирів системи |
| Цільові групи | Усі користувачі транспорту | Впо, ветерани, люди з інвалідністю | Посилення соціальної спрямованості |
| Цифрові інструменти | Транспортні додатки та сервіси | Інтегровані міські платформи (напр. Kyiv digital) | Об’єднання транспортних, безпекових і соціальних сервісів |

*Джерело: складенно на основі [1-6]*

Проведений аналіз свідчить, що в умовах воєнних викликів інтелектуальні транспортні системи зазнають суттєвої функціональної трансформації. Вони переходять від інструменту оптимізації транспортних потоків до комплексної системи, що поєднує функції управління мобільністю та забезпечення безпеки населення. Особливого значення набуває інтеграція транспортних і безпекових даних, що дозволяє оперативно реагувати на загрози та забезпечувати інформування населення. Практика українських міст демонструє, що використання цифрових платформ, зокрема додатку Kyiv Digital, сприяє формуванню єдиного інформаційного

простору, який поєднує транспортні сервіси, сповіщення про небезпеки та соціальні функції [2]. Це забезпечує підвищення доступності транспорту, підтримку вразливих груп населення та розвиток інклюзивного міського середовища.

Отже, інтеграція інтелектуальних систем моніторингу транспорту забезпечує підвищення безпеки та ефективності міських логістичних перевезень за рахунок зниження аварійності, скорочення часу реагування на інциденти та оптимізації транспортних потоків. В умовах воєнних викликів функціональність таких систем розширюється, поєднуючи управління мобільністю із забезпеченням безпеки населення та підвищенням доступності транспортних послуг. Це формує нову парадигму розвитку міської логістики, орієнтовану на інтеграцію цифрових, безпекових та соціальних рішень.

**Список використаних джерел**

1. Puzio E., Drożdż W., Kolon M. The Role of Intelligent Transport Systems and Smart Technologies in Urban Traffic Management in Polish Smart Cities. *Energies*. 2025. Vol. 18, No. 10. Art. 2580. DOI: https://doi.org/10.3390/en18102580

2. CEE Smart Cities Mobility Index. PwC. URL: https://www.pwc.com/ee/en/publications/CEE_Smart_Cities_Mobility_Index.pdf (дата звернення: 24.02.2026).

3. Shafik A. K., Rakha H. A. Decentralized Cycle-Free Game-Theoretic Adaptive Traffic Signal Control: Model Enhancement and Testing on Isolated Signalized Intersections. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 20. Art. 6339. DOI: https://doi.org/10.3390/s25206339

4. Марінов Є. А. Інноваційні технології у транспортній логістиці: економічний потенціал і виклики впровадження. *Академічні візії*. 2024. № 30. URL: https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1367 (дата звернення: 24.02.2026).

5. Процик О., Хмельов І., Бутенко Г., Данєвський М., Красулін О. Сучасні цифрові технології управління транспортними процесами автомобільного транспорту у міжнародному сполученні. *Наука та виробництво*. 2025. № 30. С. 217–225. DOI: https://doi.org/10.31498/2522-9990302025347253

6. Ільченко С. В., Жихарєва В. В., Костюк Ю. Д. Економічні засади сталого розвитку міських транспортно-логістичних систем : монографія / за наук. ред. С. В. Ільченко. Одеса : ОНМУ, 2026. 342 с. URL: https://rp.onmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/5333/Монографія_Ільченко_Жихарєва_Костюк.pdf (дата звернення: 24.02.2026).

***Демчина Василь Романович*** – доктор філософії, викладач кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, e-mail:demchynavasyl@gmail.com

***Баляш Марія-Анастасія Олегівна*** – здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності 275 «Транспортні технології» Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, e-mail: baliashanastasia7@gmail.com

***Vasyl Demchyna*** – PhD, Lecturer at the Department of Vehicle Operation and Fire and Rescue Equipment of the Lviv State University of Life Safety, e-mail: demchynavasyl@gmail.com

***Maria-Anastasia Balyash*** – a student of the first (bachelor's) level of higher education, specialty 275 "Transport Technologies" of the Lviv State University of Life Safety, e-mail: baliashanastasia7@gmail.com

УДК 656.13:005.334

**Демчина В.Р., Ковальчук О.І., Пилат В.В.**

# УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В СИСТЕМІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

*У дослідженні розглянуто сутність ризику в системі автомобільного транспорту та обґрунтовано необхідність його оцінювання і управління. Узагальнено основні фактори ризику дорожньо-транспортних пригод. Запропоновано авторську матрицю оцінювання ризиків у системі «людина – транспортний засіб – дорога – середовище» та визначено напрями їх мінімізації з метою підвищення безпеки дорожнього руху.*

***Ключові слова:*** *ризик, ДТП, безпека дорожнього руху, управління ризиками, автомобільний транспорт, фактори ризику.*

*The study consider the essence of risk in the road transport system and substantiate the need for its assessment and management. The main risk factors of road traffic accidents are generalized. An author's risk assessment matrix within the "human – vehicle – road – environment" system is proposed and directions for risk minimization to improve road safety are defined.*

***Key words:*** *risk, road traffic accident, road safety, risk management, road transport, risk factors.*

Зростання рівня аварійності на автомобільному транспорті в Україні підтверджується статистичними даними, що свідчать про значну кількість дорожньо-транспортних пригод, загиблих і травмованих. Так, за підсумками трьох кварталів 2025 року на дорогах України зафіксовано близько 19 тис. ДТП, у яких загинули понад 2 тис. осіб, а кількість травмованих перевищила 23 тис. осіб [1]. Аналіз динаміки аварійності свідчить про її сезонний характер: найбільша кількість дорожньо-транспортних пригод припадає на літні місяці та початок осені. Саме у цей період фіксується зростання як загальної кількості аварій, так і тяжкості їх наслідків, що пов'язано з підвищеною інтенсивністю руху та збільшенням швидкісного режиму. У порівнянні з попередніми роками спостерігається тенденція до зростання рівня аварійності після 2022 року. Зокрема, у 2024 році кількість ДТП перевищила 25 тис., що є одним із найвищих показників за останні роки, а кількість загиблих становила понад 3 тис. осіб [1]. Таким чином, сучасний розвиток автомобільного транспорту супроводжується зростанням рівня ризиків, що обумовлює необхідність їх системного аналізу та впровадження ефективних механізмів управління безпекою дорожнього руху. У цих умовах забезпечення безпеки дорожнього руху набуває ключового значення для стабільного функціонування транспортної системи, оскільки підвищення інтенсивності транспортних потоків прямо пов'язане зі збільшенням кількості дорожньо-транспортних пригод та їх наслідків.

Зазначене актуалізує необхідність формування цілісного підходу до управління ризиками, який передбачає їх ідентифікацію, оцінювання та мінімізацію з урахуванням впливу основних факторів ризику [2]. У межах транспортної системи ризик доцільно розглядати як імовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод і пов'язаних з ними негативних наслідків для учасників дорожнього руху, що характеризує рівень небезпеки функціонування транспортного середовища.

Кількісна оцінка ризику базується на аналізі статистичних показників аварійності, зокрема рівня смертності та травматизму, які відображають ступінь небезпеки транспортної діяльності для людини [3]. При цьому ризик може бути виражений через частоту летальних випадків або травм за певний період часу, а також у розрахунку на кількість транспортних засобів чи учасників дорожнього руху, що дозволяє об'єктивно оцінити рівень небезпеки та сформувати відповідні управлінські рішення.

Важливе значення для оцінювання рівня ризику мають статистичні дані, які дають змогу виявляти закономірності виникнення дорожньо-транспортних пригод, аналізувати тенденції

їх розвитку та визначати ключові фактори впливу. Використання такої інформації забезпечує обґрунтованість управлінських рішень у сфері безпеки дорожнього руху та дозволяє визначити пріоритетні напрями зниження аварійності [2].

Ризик виникнення ДТП формується під впливом комплексу взаємопов'язаних факторів. Суттєву роль відіграють соціально-економічні умови, які визначають інтенсивність транспортних потоків і рівень навантаження на дорожню мережу. Водночас вирішальним залишається людський фактор, що охоплює поведінкові характеристики учасників руху, їхній психофізіологічний стан, рівень дисципліни та дотримання правил дорожнього руху. Вплив також здійснюють технічний стан транспортних засобів і якість дорожньої інфраструктури, включаючи умови навколишнього середовища, що безпосередньо визначають безпечність пересування [4].

Окрему групу становлять чинники, які впливають на тяжкість наслідків дорожньо-транспортних пригод. До них належать, зокрема, швидкісний режим, використання засобів пасивної безпеки та своєчасність надання медичної допомоги постраждалим. Сукупна дія зазначених факторів формує складний характер ризику, що потребує системного підходу до його оцінювання та управління.

У сучасних дослідженнях безпека дорожнього руху розглядається як результат взаємодії елементів системи «людина – транспортний засіб – дорога – середовище» (ЛТДС), у межах якої кожен компонент впливає на виникнення, перебіг та наслідки ДТП. Людський фактор визначає поведінку учасників руху та їхню здатність реагувати на зміну дорожніх умов, технічний стан транспортного засобу характеризує рівень його надійності, а стан дорожньої інфраструктури формує умови руху. Порушення функціонування будь-якого з цих елементів призводить до зростання рівня ризику, що обумовлює необхідність їх комплексного аналізу [5].

Для систематизації факторів ризику та визначення ефективних заходів їх мінімізації доцільно застосовувати фазовий підхід, реалізований у матриці Хеддона, яка передбачає поділ дорожньо-транспортної пригоди на три стадії: до аварії, під час аварії та після неї (табл. 1).

Таблиця 1 – Авторська матриця оцінювання ризиків ДТП у системі «людина – транспортний засіб – дорога – середовище» (на основі підходу Хеддона)

| Фаза ДТП | Людина | Транспортний засіб | Дорога і середовище |
|---|---|---|---|
| До ДТП | Дотримання правил дорожнього руху, рівень підготовки водія, відсутність втоми та сп'яніння | Технічна справність транспортного засобу, стан гальмівної системи, відповідність технічним нормам | Якість дорожнього покриття, освітлення, розмітка, організація руху |
| Під час ДТП | Використання ременів безпеки, швидкість реакції, фізичний стан | Наявність систем пасивної безпеки (ABS, airbags), конструкційна безпечність авто | Наявність захисних споруд, бар'єрів, дорожніх обмежень |
| Після ДТП | Навички надання першої допомоги, поведінка після аварії | Ризик загоряння, можливість швидкого доступу до постраждалих | Оперативність екстрених служб, доступність медичної допомоги, транспортна доступність |

*Джерело: складенно на основі [5]*

Застосування матричного підходу дозволяє комплексно оцінювати ризики, визначати критичні фактори на кожному етапі розвитку дорожньо-транспортної пригоди та формувати обґрунтовані управлінські рішення щодо підвищення рівня безпеки дорожнього руху. При цьому ключову роль у всіх фазах аварії відіграє людський фактор, що зумовлює необхідність

підвищення культури водіння, посилення контролю за дотриманням правил дорожнього руху та впровадження превентивних заходів.

З урахуванням комплексного характеру формування ризиків доцільним є розгляд процесу їх управління як системи взаємопов'язаних етапів, що забезпечують послідовне виявлення, оцінювання та мінімізацію небезпечних факторів (табл. 2).

Таблиця 2 – Система управління ризиками в автомобільному транспорті

| Етап управління ризиками | Зміст етапу | Інструменти | Очікуваний результат |
|---|---|---|---|
| Ідентифікація ризиків | Виявлення факторів, що спричиняють ДТП | Статистика ДТП, аналіз аварійності | Визначення джерел ризику |
| Оцінювання ризиків | Визначення рівня ризику та тяжкості наслідків | Показники смертності, травматизму, аналітичні методи | Ранжування ризиків |
| Аналіз небезпечних ділянок | Виявлення зон підвищеної аварійності | Картографування, зонування територій | Визначення пріоритетних зон |
| Прийняття рішень | Розробка заходів зниження ризику | Планування, нормативне регулювання | Формування заходів безпеки |
| Реалізація заходів | Впровадження управлінських рішень | Контроль швидкості, техогляди, організація руху | Зниження аварійності |
| Моніторинг і контроль | Оцінка ефективності заходів | Повторний аналіз статистики | Коригування управління |

*Джерело: складенно на основі [6, 7]*

Як бачимо, управління ризиками в системі автомобільного транспорту ґрунтується на систематичному оцінюванні ймовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод та тяжкості їх наслідків із використанням статистичних даних. Аналіз показників аварійності, смертності та травматизму дозволяє визначити рівень ризику як для окремих транспортних засобів, так і для дорожньої мережі в цілому, а також виявити просторові та часові закономірності виникнення небезпечних подій. Важливим напрямом є ідентифікація та аналіз небезпечних ділянок доріг, що характеризуються підвищеним рівнем аварійності. На основі таких досліджень здійснюється зонування територій за ступенем ризику та визначаються пріоритетні напрями втручання. Результати оцінювання ризиків використовуються при проєктуванні та модернізації автомобільних доріг, проведенні аудиту безпеки дорожнього руху, а також у процесі організації та управління транспортними потоками з метою мінімізації ймовірності виникнення ДТП. Особливу увагу у системі управління ризиками приділяють швидкісному режиму як одному з ключових факторів, що визначає як імовірність виникнення дорожньо-транспортної пригоди, так і тяжкість її наслідків, що обумовлює необхідність посилення контролю та впровадження ефективних механізмів регулювання швидкості руху.

Таким чином, ефективне управління ризиками у системі автомобільного транспорту передбачає комплексний підхід, що поєднує аналітичне оцінювання, виявлення критичних факторів та реалізацію превентивних заходів, спрямованих на зниження рівня аварійності та підвищення безпеки дорожнього руху.

**Список використаних джерел**

1. Скільки людей щомісяця гине та травмується у ДТП на дорогах України. URL: https://www.slovoidilo.ua/2025/11/11/infografika/suspilstvo/skilky-lyudej-shhomisyacya-hyne-ta-travmuyetsya-dtp-dorohax-ukrayiny

2. Кульова Д. О., Магопець С. О., Лівіцький О. М. Безпека дорожнього руху в Україні

оцінювання ризиків і перспективи цифровізації. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2025. Вип. 11(42). Ч. 2. С. 278–285. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.278-285

3. Віштак І. В., Майданевич Л. О. Управління ризиками на автомобільному транспорті за моделлю COSO основні підходи. *Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції 15–17 квітня 2025 року. Вінниця ВНТУ 2025. С. 108–111. URL: https://surl.li/udvodi

4. Каращук В., Іванченко Д., Кіріцева О., Джус О. Дослідження аварійності автотранспорту в аспекті соціальної безпеки. *Наука та виробництво*. 2025. № 29. DOI: https://doi.org/10.31498/2522-9990292025330274

5. Ткаченко І. О. Ризики у транспортних процесах навчальний посібник. Харків ХНУМГ ім. О. М. Бекетова 2017. 114 с. URL: https://files01.core.ac.uk/download/pdf/ 154806543.pdf

6. Бех П. В., Лашков О. В., Окороков А. М., Заруба О. В. Прийняття рішень по організації автомобільних перевезень в умовах невизначеності оцінок. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2025. № 30. С. 98–104. DOI: https://doi.org/10.15802/tstt2025/340144

7. Деділова Т., Савойський О., Таценко О. Стратегічні драйвери розвитку підприємств автомобільного транспорту в контексті ESG-викликів. *Проблеми і перспективи розвитку підприємництва.* 2025. № 3. С. 204–217. DOI: https://doi.org/10.30977/PPB.2226-8820.2025.35.204

***Демчина Василь Романович*** – доктор філософії, викладач кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, e-mail:demchynavasyl@gmail.com

***Ковальчук Олег Ігорович*** – доктор філософії, викладач кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, e-mail:o.kovalchuk@ldubgd.edu.ua

***Пилат Вікторія Василівна*** – здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності 275 «Транспортні технології» Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, e-mail: pilat248@gmail.com

***Vasyl Demchyna*** – PhD, Lecturer at the Department of Vehicle Operation and Fire and Rescue Equipment of the Lviv State University of Life Safety, e-mail: demchynavasyl@gmail.com

***Oleg Kovalchuk*** – PhD, Lecturer at the Department of Law and Management in the Field of Civil Protection of the Lviv State University of Life Safety, e-mail: o.kovalchuk@ldubgd.edu.ua

***Victoria Pilat*** – a student of the first (bachelor's) level of higher education, specialty 275 "Transport Technologies" of the Lviv State University of Life Safety, e-mail: pilat248@gmail.com

УДК 378:656.13:005.336.2

**Демчина В.Р., Тераз Б.В.**

# КОМПЕТЕНТНІСНИЙ ПІДХІД У ПІДГОТОВЦІ ІНЖЕНЕРІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ: СУЧАСНІ ВИМОГИ РИНКУ ПРАЦІ

*Дослідження компетентнісного підходу у підготовці інженерів автомобільного транспорту дозволяє узгодити результати освітнього процесу з вимогами сучасного ринку праці та забезпечити формування професійних, цифрових, аналітичних і управлінських компетентностей, необхідних для ефективної діяльності в умовах цифровізації та відновлення транспортної інфраструктури.*

***Ключові слова:*** *компетентнісний підхід, інженери автомобільного транспорту, ринок праці, професійні компетентності, цифрові компетентності, підготовка фахівців, транспортна інфраструктура.*

*The study of the competency-based approach in the training of automotive transport engineers makes it possible to align educational outcomes with modern labor market requirements and ensure the formation of professional, digital, analytical and managerial competencies necessary for effective activity under conditions of digital transformation and transport infrastructure recovery.*

***Key words:*** *competency-based approach, automotive transport engineers, labor market, professional competencies, digital competencies, training of specialists, transport infrastructure.*

Сучасний етап розвитку економіки характеризується активною цифровізацією та структурними змінами транспортної галузі, що зумовлює підвищення вимог до професійної підготовки інженерів автомобільного транспорту. Водночас для України особливої актуальності набуває завдання відновлення транспортної інфраструктури, пошкодженої внаслідок воєнних дій, що обумовлює зростання попиту на висококваліфікованих фахівців, здатних працювати в умовах технологічної невизначеності та обмежених ресурсів [1]. За таких умов ключовим напрямом модернізації освітнього процесу виступає компетентнісний підхід, який орієнтований на формування інтегрованих результатів навчання, що поєднують знання, практичні навички, досвід професійної діяльності, а також здатність до аналізу та прийняття управлінських рішень [2]. Його реалізація забезпечує підготовку фахівців, здатних ефективно функціонувати в реальних виробничих умовах, швидко адаптуватися до змін та застосовувати інноваційні технології у професійній діяльності.

Водночас ефективність реалізації компетентнісного підходу значною мірою залежить від відповідності результатів підготовки актуальним потребам ринку праці. З огляду на це доцільним є аналіз вимог роботодавців (табл. 1) [3], що дозволяє визначити перелік ключових компетентностей, необхідних для професійної діяльності інженерів автомобільного транспорту, та забезпечити узгодження змісту освітніх програм із сучасними запитами галузі.

Проведений аналіз свідчить про комплексний та міждисциплінарний характер вимог роботодавців до інженерів автомобільного транспорту, які відзначаються значною різноманітністю залежно від сфери діяльності, масштабу підприємства та специфіки виробничих процесів. Встановлено, що сучасні вимоги не обмежуються базовими технічними знаннями, а набувають системного характеру та поступово ускладнюються під впливом цифровізації, автоматизації та інтеграції інноваційних технологій у транспортну галузь.

Поряд із традиційними професійними компетентностями зростає роль цифрових, аналітичних і управлінських навичок, а також особистісних якостей, що забезпечують ефективну діяльність у динамічному та невизначеному середовищі. Особливої ваги набуває практичний досвід, здатність працювати з сучасними технологіями, програмними продуктами та інформаційними системами, а також готовність до постійного професійного розвитку [4].

Таблиця 1 – Систематизація вимог роботодавців до інженерів автомобільного транспорту

| Блок вимог | Конкретні вимоги роботодавців | Інтерпретація для компетентнісного підходу |
|---|---|---|
| Освітні | Вища або середня спеціальна технічна освіта (інженерія, механіка, транспорт) | Формування базових професійних знань та інженерного мислення |
| Досвід роботи | Досвід роботи від 2 років, практичні навички ремонту і обслуговування | Орієнтація на практико-орієнтоване навчання, розвиток дуальної освіти |
| Професійні | Знання будови автомобіля, діагностика, ремонт, експлуатація техніки | Формування прикладних технічних компетентностей |
| Цифрові | Робота з GPS, діагностичними системами, спеціалізованим ПЗ (AutoCAD, SCAD) | Розвиток цифрових компетентностей і навичок роботи з ІТ-системами |
| Аналітичні | Прийняття рішень, аналіз технічного стану, контроль витрат | Формування аналітичного мислення та оптимізації процесів |
| Управлінські | Організація роботи персоналу, контроль ТО, ремонтів, документообіг | Розвиток організаційно-управлінських компетентностей |
| Нормативні | Ведення документації, взаємодія з держорганами, дотримання стандартів | Формування правових і регуляторних знань |
| Інноваційні | Робота з інфраструктурними проєктами, новими технологіями | Орієнтація на інноваційний розвиток галузі |
| Комунікаційні | Робота в команді, взаємодія з клієнтами і підрядниками | Розвиток комунікаційних компетентностей |
| Особистісні | Відповідальність, стресостійкість, організованість, прийняття рішень | Формування поведінкових та адаптивних якостей |
| Додаткові | Водійське посвідчення, мобільність, готовність до відряджень | Забезпечення практичної готовності до професійної діяльності |

*Джерело: складенно на основі [3]*

Таким чином, сучасний ринок праці формує запит на універсального фахівця нового типу, який поєднує інженерні, цифрові, управлінські та комунікаційні компетентності, що обумовлює необхідність трансформації підходів до професійної підготовки.

Сформовані вимоги до фахівців значною мірою обумовлені трансформаційними процесами, що відбуваються у транспортній галузі. Зокрема, цифровізація транспортних систем, впровадження інтелектуальних технологій, розвиток електромобільності та автоматизація технічного обслуговування зумовлюють необхідність розширення спектра професійних компетентностей [5]. Водночас для України особливої актуальності набуває необхідність відновлення транспортної інфраструктури в умовах післявоєнної реконструкції, що потребує фахівців, здатних працювати з інфраструктурними проєктами, координувати виробничі процеси та забезпечувати ефективне використання ресурсів. Відповідно до визначених вимог ринку праці, ключовим завданням системи вищої освіти є формування у майбутніх інженерів автомобільного транспорту комплексу компетентностей, які забезпечують їхню професійну конкурентоспроможність [6]. У цьому контексті компетентнісний підхід виступає інструментом трансформації запитів роботодавців у конкретні результати навчання, що дозволяє узгодити зміст освітніх програм із реальними потребами галузі.

Інтеграція транспортної системи України до європейського простору, а також необхідність післявоєнного відновлення інфраструктури зумовлюють підвищені вимоги до підготовки фахівців, які мають відповідати сучасним міжнародним стандартам, володіти цифровими технологіями та бути здатними до роботи в умовах інноваційного розвитку. За таких

умов компетентнісний підхід забезпечує формування не лише професійних знань, а й здатності до практичного їх застосування, прийняття управлінських рішень, ефективної комунікації та адаптації до змін. З метою узгодження результатів підготовки фахівців із вимогами ринку праці доцільно виокремити ключові групи компетентностей інженерів автомобільного транспорту, їх змістове наповнення та практичне значення (табл. 2).

Таблиця 2 – Відповідність компетентностей інженерів автомобільного транспорту сучасним вимогам ринку праці та відновлення України

| Група компетентностей | Зміст компетентності | Вимоги ринку праці | Значення для відновлення України |
|---|---|---|---|
| Професійні (технічні) | Діагностика, ремонт, експлуатація транспортних засобів | Обслуговування сучасних авто, електромобілів | Відновлення автопарку, ремонт техніки |
| Цифрові | Робота з діагностичними системами, IT-платформами, телематикою | Використання цифрових технологій та автоматизації | Впровадження smart-логістики, цифровий моніторинг |
| Аналітичні | Аналіз технічного стану, прийняття рішень | Оптимізація витрат і процесів | Планування відбудови транспортної інфраструктури |
| Управлінські | Організація техобслуговування, управління процесами | Координація роботи сервісів і логістики | Управління відновлювальними проєктами |
| Інноваційні | Робота з новими технологіями, електротранспортом | Впровадження інновацій | Розвиток сучасної транспортної системи |
| Комунікаційні | Командна робота, комунікація, адаптивність | Робота в мультидисциплінарних командах | Координація міжнародних і національних проєктів |

*Джерело: складенно на основі [4-6]*

Систематизація компетентностей свідчить, що сучасна підготовка інженерів автомобільного транспорту має ґрунтуватися на інтеграції технічних, цифрових, аналітичних та управлінських складових, доповнених розвиненими комунікаційними та адаптивними якостями. Такий підхід дозволяє забезпечити відповідність випускників вимогам ринку праці, підвищити їхню мобільність та здатність до ефективної професійної діяльності.

Отже, компетентнісний підхід виступає ключовим механізмом узгодження освітніх результатів із потребами ринку праці та забезпечує підготовку фахівців, здатних брати участь у модернізації транспортної галузі, реалізації інфраструктурних проєктів і відновленні економіки України.

**Список використаних джерел**

1. Кулікова Т. Формування професійної мовної культури майбутніх фахівців автомобільного транспорту у процесі професійної підготовки. *Collection of Scientific Papers «SCIENTIA»*. Glasgow, Scotland, UK, 28 November 2025. С. 402–404. URL: https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/3276 (дата звернення 02.03.2026).

2. Ковальчук Б. Характеристика структурних компонентів проєктної компетентності бакалаврів професійної освіти (транспорт). *Гуманітарні студії: історія та педагогіка.* 2026. № 2. С. 233–242. URL: http://gsip.wunu.edu.ua/index.php/gsipua/article/view/323 (дата звернення 02.03.2026).

3. *Work.ua.* Вакансії інженера з транспорту. URL: https://www.work.ua/jobs-інженер+з

+транспорту/?sort=date (дата звернення 02.03.2026).

4. Лебідь І. Аналіз стану розробленості проблеми професійної підготовки бакалаврів з транспортних технологій в закладах вищої технічної освіти України. *Освіта. Інноватика. Практика.* 2025. Т. 13, № 9. С. 65–73. DOI: https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol13i9-009

5. Головіна О., Алтухов П. Дослідження підходів до вивчення інженерно-графічних дисциплін здобувачами спеціальності «автомобільний транспорт». *International Science Journal of Education & Linguistics*. 2023. Т. 2, № 4. С. 61–67. DOI: https://doi.org/10.46299/j.isjel.20230204.08

6. Дуганець В., Пукас В., Волинкін М., Печенюк А. Розвиток інженерних компетенцій: управлінський підхід до викладання дисципліни «Автомобілі». *Публічне управління і політика*. 2025. № 9 (13). DOI: https://doi.org/10.70651/3041-2498/2025.9.12

***Демчина Василь Романович*** – доктор філософії, викладач кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, e-mail:demchynavasyl@gmail.com

***Тераз Богдан Володимирович*** – здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності 275 «Транспортні технології» Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, e-mail: Bteraz759@gmail.com

***Vasyl Demchyna*** – PhD, Lecturer at the Department of Vehicle Operation and Fire and Rescue Equipment of the Lviv State University of Life Safety, e-mail: demchynavasyl@gmail.com

***Bogdan Teraz*** – a student of the first (bachelor's) level of higher education, specialty 275 "Transport Technologies" of the Lviv State University of Life Safety, e-mail: Bteraz759@gmail.com

УДК 621.391

**Домненко М.Г., Колесникова І.М.**

# ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ БАЗИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ П-18 «МАЛАХІТ»

*Дослідження можливостей транспортної бази радіолокаційної станції П-18 щодо забезпечення оперативного переміщення під час ведення бойових дій, а також визначення шляхів її удосконалення в умовах воєнного стану.*
***Ключові слова:*** *транспортна база, автомобіль, заміна бойових позицій, радіолокаційна станція.*

*Research into the capabilities of the transport base of the P-18 radar station to ensure operational movement during combat operations, as well as identifying ways to improve it under martial law conditions.*
***Keywords:*** *transport base, vehicle, replacement of combat positions, radar station.*

Радіолокаційна станція П-18 «Малахіт» за часів СРСР розміщувалася на транспортній базі автомобілів УРАЛ-375 або 4320 та двох причіпах. У такому варіанті постачання вона була маломобільною та займала велику площу при розгортанні на бойовій позиції.

За часів незалежності в Україні було проведено удосконалення та модернізацію цієї радіолокаційної станції (далі – РЛС), що дало можливість суттєво покращити не тільки технічні характеристика самої станції, але й удосконалити транспортну базу та зменшити її демаскуючі ознаки, а також зменшити площу розгортання на бойовій позиції.

Нова РЛС українського виробництва П-18 «Малахіт» була розміщена вже на одному автомобілі та на одному причепі. На шасі вітчизняного автомобіля КрАЗ-63221 облаштовано антенно-щогловий пристрій (АЩП), дві малошумні дизель-генераторні установки імпортного виробництва (як автономне джерело живлення), а на причепі – апаратна кабіна.

У такий спосіб було вирішено питання безпеки для військовослужбовців, які працюють із цим видом РЛС. Адже противник насамперед намагається знищити випромінювальну антену. Отже, під удар потрапляє і персонал. Саме тому доцільніше, щоб антена знаходилася на певній відстані від апаратної кабіни.

Фахівці «Укрспецтехніки» передбачили можливість «виносного» варіанта. У цьому випадку полотно антени може розміщуватися на напівпричепі на певній відстані від апаратної кабіни. Така модифікація станції забезпечує підвищення живучості військовослужбовців у складі екіпажу РЛС «Малахіт» та дозволяє розміщувати антенну систему з опорно-поворотним обладнанням не лише на вітчизняних автомобілях КрАЗ, а й на інших вантажівках схожого типу.

Слід зазначити, що станцією можна керувати не лише безпосередньо з автомобіля, а й на відстані від нього. Розробники передбачливо створили виносне робоче місце управління, яке може перебувати на відстані 1 км від РЛС. Отже, персонал знаходиться у відносній безпеці та може уникнути виявлення своєї позиції, авіанальоту чи артилерійського удару.

АЩП компактно розміщується у середині фургона на шасі автомобіля КрАЗ. Після прибуття на бойові позиції автомобіль встановлюється на трьох опорах (для розвантаження підвіски) та горизонтується. Щогла АМУ висувається із задніх дверей фургона, за необхідності нарощується на необхідну довжину, антена збирається в горизонтальному положенні і за допомогою спеціальних механізмів набуває вертикального положення.

Шляхами удосконалення транспортної бази РЛС П-18 можуть бути:

1. Заміна базового автомобіля на більш сучасний із підвищеною вантажопідйомністю, прохідністю та надійністю (наприклад, КрАЗ-6322 або сучасні військові броньовані шасі).
2. Підвищення мобільності: встановлення полегшеної та більш компактної антени, що

швидше розгортається.

3. Покращення шасі: модернізація підвіски, посилені колеса, впровадження шин зі зменшеним тиском для підвищення прохідності.

4. Зменшення часу розгортання РЛС завдяки зменшенню кількості транспортної бази.

Запровадження нової транспортної бази РЛС П-18 обов'язково сприятиме оптимізації процесу розгортання:

– автоматизації підйому та встановлення антени – електричні або гідравлічні підйомники замість ручних;

– модульності компонентів – розділення обладнання на легші, швидкозбірні блоки;

– використання легких матеріалів, наприклад, композитів для щогли антени, щоб зменшити вагу і спростити монтаж.

Удосконалення транспортної бази обов'язково вплине і на покращення автономності:

– заміна старого бензинового генератора на сучасний дизельний або навіть гібридний з акумуляторами;

– система охолодження та кондиціювання – модернізація для роботи в жарких або холодних умовах без залучення додаткового транспорту.

Велике значення буде мати і зменшення видимості та уразливості РЛС П-18:

– маскування та бронювання шасі – додаткові покриття для захисту від обстрілу та радіоелектронної розвідки;

– впровадження швидкого переміщення з локації, щоб зменшити час перебування на одній позиції.

Отже, застосування вищезазначених заходів суттєво підвищать можливість РЛС П-18 щодо швидкого переміщення з однієї бойової позиції на іншу, дасть змогу автоматизувати процеси розгортання / згортання та покращити оперативність енергозабезпечення і зменшення демаскуючих ознак РЛС П-18.

***Домненко Микола Григорович*** – викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3222, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com)

***Колесникова Інна Миколаївна*** – викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3222, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com)

***Domnenko Mykola Grigorovich*** – lecturer at the Department of Military Training of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic St., room 3222, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com)

***Kolesnykova Inna Mykolaivna*** – lecturer at the Department of Military Training of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic Street, room 3222, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com)

УДК 656.1

**Дорощук В.О., Сліпенький Є.Б.**

# КОНТЕЙНЕРНА ЛОГІСТИКА ЕКСПОРТНО-ІМПОРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

*У сучасних умовах глобалізації світової економіки контейнерна логістика відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності експортно-імпортних операцій. Зростання обсягів міжнародної торгівлі, ускладнення логістичних ланцюгів і підвищення вимог до швидкості та надійності доставки товарів обумовлюють необхідність використання сучасних технологій транспортування, серед яких провідне місце займає контейнеризація.*
***Ключові слова:*** *контейнерні перевезення, логістика, експорт, імпорт, вантаж, контейнер.*

*In the modern conditions of globalization of the world economy, container logistics plays a key role in ensuring the efficiency of export-import operations. The growth of international trade volumes, the complexity of logistics chains and the increasing requirements for the speed and reliability of goods delivery necessitate the use of modern transportation technologies, among which containerization occupies a leading place.*
***Key words:*** *container transportation, logistics, export, import, cargo, container.*

Міжнародні контейнерні перевезення є одним із найефективніших способів транспортування значних обсягів товарів. Такий формат перевезень гарантує безпеку та надійність доставки на великі відстані. Тривалість транспортування контейнерів безпосередньо залежить від порту відправлення і може варіюватися залежно від обраного маршруту та погодних умов.

Контейнерна логістика – це система організації та управління процесами перевезення вантажів у стандартизованих контейнерах, яка охоплює всі етапи руху товару: від підготовки та завантаження у країні-експортері до доставки кінцевому споживачу в країні-імпортері. Основною перевагою контейнерів є їх універсальність, що дозволяє використовувати різні види транспорту (морський, залізничний, автомобільний) без необхідності перевантаження самого вантажу.

Контейнерна логістика є основою сучасної міжнародної торгівлі та забезпечує ефективне переміщення товарів між країнами. За останні десятиліття контейнеризація кардинально змінила світову торгівлю, зробивши її швидшою, дешевшою та надійнішою. Близько 90% світових вантажів перевозяться морським транспортом, і понад 60% з них – у контейнерах. Розуміння принципів контейнерної логістики є критично важливим для успішної експортно-імпортної діяльності будь-якого підприємства.

Однією з головних характеристик контейнерної логістики є мультимодальність. Це означає, що вантаж може транспортуватися кількома видами транспорту в межах одного логістичного ланцюга. Наприклад, контейнер може бути доставлений автомобільним транспортом до порту, далі перевезений морським судном, а після прибуття – залізницею або автотранспортом до кінцевого пункту призначення. Такий підхід значно скорочує час доставки та знижує витрати.

Експортно-імпортну діяльність контейнерної логістики забезпечують ряд учасників в межах своєї компетенції (рис. 1).

Важливим аспектом контейнерної логістики є стандартизація. Використання контейнерів стандартів ISO (20-футових, 40-футових та інших) забезпечує сумісність транспортного обладнання, спрощує процеси навантаження і розвантаження, а також сприяє автоматизації логістичних операцій. Це дозволяє значно підвищити ефективність перевезень і зменшити ризик пошкодження вантажів. Крім того контейнери різних типів (рефрижераторні контейнери (Reefer), контейнери з відкритим верхом (Open Top), платформи (Flat Rack), контейнери-цис-

терни (Tank Container), High Cube контейнери) дозволяють перевозити вантажі згідно їх фізико-хімічних властивостей та характеристик.

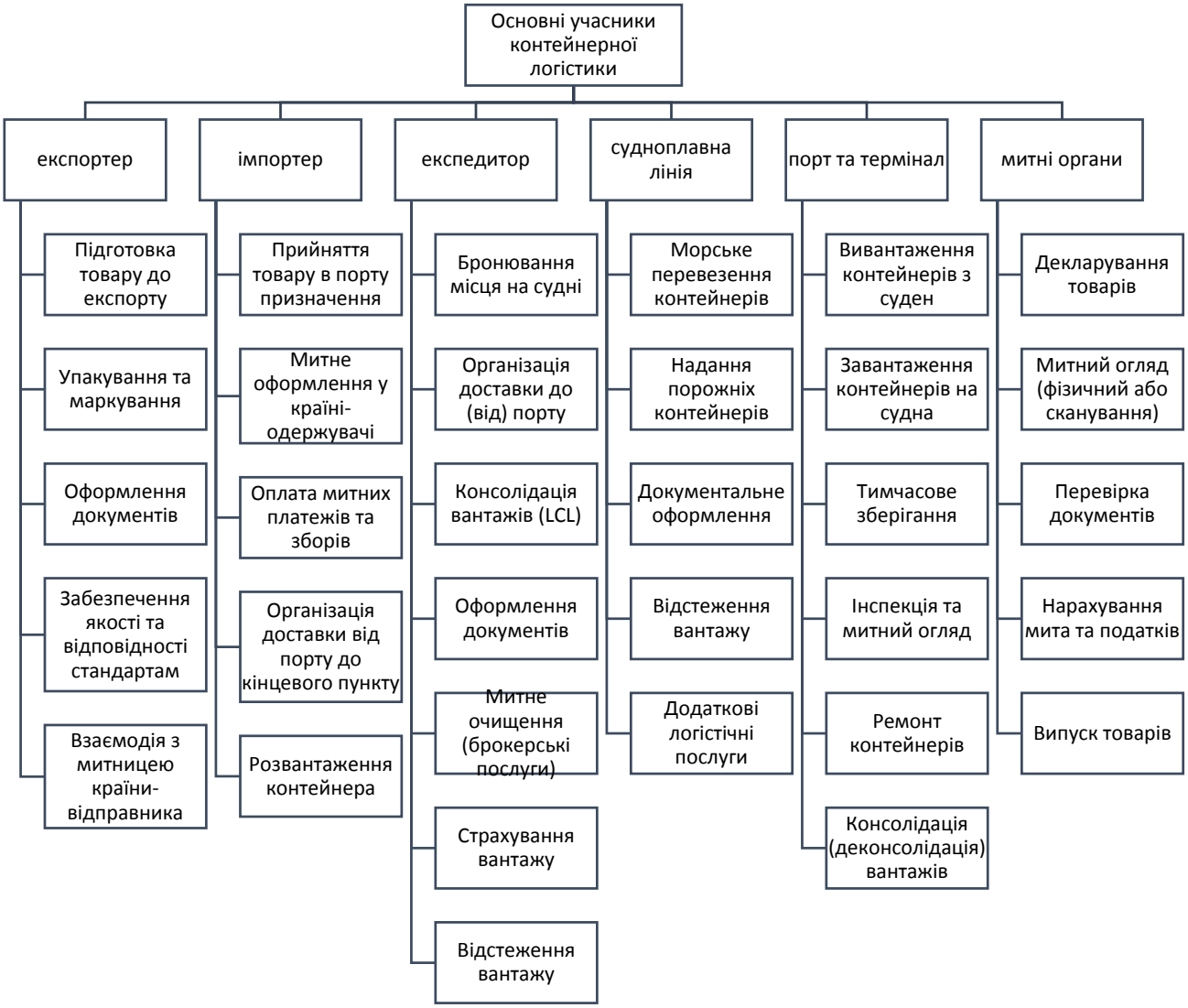



Рисунок 1 – Основні учасники контейнерної логістики та їх функції

Не менш важливою складовою є митне оформлення та документальний супровід. У процесі експортно-імпортних операцій використовуються такі документи, як коносамент, товарно-транспортна накладна, інвойс, пакувальний лист тощо. Ефективна організація документообігу сприяє скороченню часу проходження митних процедур і уникненню затримок.

Сучасна контейнерна логістика активно використовує інформаційні технології. Системи управління перевезеннями (TMS), електронний документообіг, GPS-моніторинг і цифрові платформи відстеження дозволяють у режимі реального часу контролювати місцезнаходження вантажу, прогнозувати строки доставки та оперативно реагувати на можливі відхилення.

Разом із перевагами контейнерна логістика має і певні виклики. Серед них – залежність від інфраструктури портів, можливі затримки через перевантаження терміналів, вплив погодних умов, а також коливання тарифів на перевезення. Крім того, важливим є забезпечення безпеки вантажів, особливо при транспортуванні дорогих або небезпечних товарів.

Контейнерна логістика є основою сучасної глобальної торгівлі. Успіх у експортно-імпортних операціях залежить від розуміння всього ланцюга поставок – від вибору правильного

типу контейнера до своєчасного повернення порожнього контейнера.

Отже, контейнерна логістика є невід'ємною складовою експортно-імпортної діяльності, яка забезпечує ефективний, безпечний і економічно вигідний рух товарів у міжнародному просторі. Її розвиток сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств, оптимізації витрат і зміцненню позицій країн на світовому ринку. Контейнерна логістика продовжує еволюціонувати, роблячи міжнародну торгівлю доступнішою та ефективнішою для компаній будь-якого розміру. У майбутньому роль контейнерної логістики лише зростатиме завдяки впровадженню інноваційних технологій і подальшій інтеграції глобальних логістичних систем, тому розуміння її принципів – це інвестиція в успіх вашого бізнесу на глобальному ринку.

**Список використаних джерел**

1. Петренко О.І., Алексєєва О.О. Практика використання блокчейн-технології в мультимодальних контейнерних перевезеннях. Бізнес Інформ, 2024. №1. С. 178–186.

2. Соколовська О.Є. Організація мультимодальних контейнерних перевезень як складової сталого розвитку транспортної системи України. Наукові технології. 2021. № 3. С. 292–304.

3. World Container Index. URL: https://www.drewry.co.uk/supply-chain-advisors/supply-chain-expertise/world-container-index-assessed-by-drewry.

***Дорощук Вікторія Олександрівна*** — старший викладач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування (33019, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, ауд. 335, e-mail: v.o.doroshchuk@nuwm.edu.ua).

***Сліпенький Євгеній Богданович*** — старший викладач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування (33019, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, ауд. 335, e-mail: e.b.slipenkyi@nuwm.edu.ua).

***Doroshchuk Viktoriia*** – Senior lecturer of the Department of Transport Technology and Technical Service of National University of Water and Environmental Engineering (33019, Rivne, Oleksi Novaka Street, 77, room 335, e-mail: v.o.doroshchuk@nuwm.edu.ua).

***Slipenkyi Evgeniy*** – Senior lecturer of the Department of Transport Technology and Technical Service of National University of Water and Environmental Engineering (33019, Rivne, Oleksi Novaka Street, 77, room 335, e-mail: e.b.slipenkyi@nuwm.edu.ua).

УДК 629.33:621.355

**Дудко А.Ю., Кузьмінець М.П., Зотько Д.С.**

# ОЦІНКА ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ НА АВТОНОМНИЙ ХІД ТРОЛЕЙБУСІВ

*У роботі виконано оцінку впливу технічних характеристик тягових акумуляторних батарей на автономний хід тролейбусів категорії М3, класу І. Проаналізовано параметри сучасних батарей українського виробництва та визначено залежність довжини автономного руху від їх енергетичної ємності і питомої витрати енергії транспортного засобу. Отримано розрахункові значення автономного ходу та обґрунтовано доцільність використання тролейбусів з автономним ходом у міських транспортних системах.*

***Ключові слова:*** *автономний хід, енергетична ємність, тягова акумуляторна батарея, транспортний засіб, тролейбус, питома витрата енергоносія, діагностика.*

*The paper evaluates the influence of traction battery characteristics on the autonomous range of M3 category trolleybuses. The parameters of modern batteries manufactured in Ukraine are analyzed, and the dependence of autonomous operation range on battery energy capacity and specific energy consumption is determined. The estimated range values are obtained, and the feasibility of using trolleybuses with autonomous operation in urban transport systems is substantiated.*

***Keywords:*** *autonomous running, energy capacity, traction battery, vehicle, trolleybus, specific energy consumption, diagnostics.*

Основна кількість транспортних засобів категорії М3, класу І, що здійснюють пасажирські перевезення в Україні, представлена тролейбусним транспортом. Тролейбуси функціонують у більшості обласних центрів України, а також у ряді промислових міст. У зв'язку з реалізацією програм розвитку міського транспорту, що фінансуються міжнародними фінансовими організаціями, спостерігається тенденція до оновлення рухомого складу.

Особливістю сучасного етапу розвитку тролейбусного транспорту є впровадження транспортних засобів, оснащених тяговими акумуляторними батареями, що забезпечують можливість автономного руху на ділянках маршруту без контактної мережі. Це дозволяє підвищити ефективність використання тролейбусів та зменшити витрати на розвиток інфраструктури.

Використання тролейбусів з автономним ходом дає можливість:

– подовжувати маршрути без будівництва контактної мережі;
– зменшувати капітальні витрати на інфраструктуру;
– замінювати автобуси на екологічно чистий транспорт;
– підвищувати гнучкість маршрутної мережі.

На сьогодні частка тролейбусів з автономним ходом становить близько 15% від загальної кількості рухомого складу. Такі транспортні засоби експлуатуються в ряді міст України.

Метою роботи є аналіз технічних характеристик сучасних тягових акумуляторних батарей та оцінка їх впливу на довжину автономного ходу тролейбусів.

В Україні виготовляються тягові акумуляторні батареї на основі літій-іонних елементів типу NMC (нікель–марганець–кобальт), які мають високу енергетичну щільність і довговічність [1, 2]. Основним виробником таких батарей є підприємства вітчизняної промисловості, що забезпечують потреби міського електротранспорту.

Для забезпечення ефективної роботи тягових акумуляторних батарей до їх складу входять такі системи:

– система керування батареєю (BMS);
– система охолодження та обігріву;
– система діагностики;
– система захисту;

– система накопичення рекуперованої енергії [1].

Система керування батареєю виконує контроль процесів заряджання та розряджання, забезпечує балансування елементів та контроль температурного режиму. Система охолодження автоматично підтримує оптимальні температурні умови експлуатації.

Технічні характеристики сучасних тягових акумуляторних батарей включають:

– енергетичну ємність від 32 до 90 кВт·год;

– максимальну напругу до 590 В;

– можливість роботи в широкому діапазоні температур;

– забезпечення необхідної потужності для тролейбусів різних типів [1, 2].

Для оцінки довжини автономного ходу тролейбуса використаємо залежність:

$$L = \frac{E}{q}$$

де L – довжина автономного ходу, км;

E – енергетична ємність батареї, кВт·год;

q – питома витрата енергії, кВт·год/км.

Для сучасних тролейбусів питома витрата енергії становить у середньому 1,8–2,5 кВт·год/км залежно від умов експлуатації.

Розрахунок показує, що:

– при ємності 32 кВт·год автономний хід становить приблизно 12–18 км;

– при ємності 65 кВт·год – 26–36 км;

– при ємності 90 кВт·год – до 40–50 км.

Отримані результати свідчать про можливість ефективного використання тролейбусів з автономним ходом на маршрутах із частковою відсутністю контактної мережі.

Таким чином, застосування сучасних тягових акумуляторних батарей дозволяє підвищити ефективність функціонування міського електротранспорту та забезпечити його подальший розвиток.

Висновки. Встановлено, що сучасні тягові акумуляторні батареї українського виробництва мають енергетичну ємність у діапазоні від 32 до 90 кВт·год, що дозволяє використовувати їх для забезпечення автономного ходу тролейбусів. Визначено, що довжина автономного ходу тролейбусів категорії М3, класу І суттєво залежить від енергетичної ємності батареї та питомої витрати енергії, яка визначається умовами експлуатації. Розрахунковим шляхом встановлено, що автономний хід може становити від 12 до 50 км, що дозволяє ефективно експлуатувати тролейбуси на маршрутах із частково відсутньою контактною мережею. Використання тягових акумуляторних батарей є перспективним напрямом розвитку міського електротранспорту, оскільки дозволяє зменшити витрати на будівництво контактної мережі та підвищити гнучкість маршрутної мережі.

**Список використаних джерел**

1. ТУ У 27.2 - 36476580 - 008:2025 Блок тягових батарей. Технічні умови. — [Чинні від 2026-01-01]. — Бровари : ТОВ «ПОЛІТЕХНОСЕРВІС» 2025. — 27 с.

2. ТУ У 27.2 - 36476580 - 007:2023 Батарея тягова акумуляторна літій-іонна, типу ТБЕТЗ. Технічні умови. [Чинні від 2024-01-01]. — Бровари : ТОВ «ПОЛІТЕХНОСЕРВІС» 2023. — 21 с.

***Дудко Андрій Юрійович*** – аспірант, наукова спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» Національний транспортний університет, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, e-mail: ad0980171842@gmail.com.

***Кузьмінець Микола Петрович*** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, Національний транспортний університет, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, e-mail: kuzminecmp@ukr.net.

***Зотько Денис Сергійович*** – студент, Національний транспортний університет, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, e-mail: han_solo2901@icloud.com.

***Dudko Andriy*** – Postgraduate student, scientific specialty 274 «Automobile transport» National Transport University, Ukraine, 01010, Kyiv, M.Omelyanovicha-Pavlenko St. 1, e-mail: ad0980171842@gmail.com.

***Kuzminets Mykola*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer, Engineering Graphics and Design, National Transport University, Ukraine, 01010, Kyiv, M.Omelyanovicha-Pavlenko St. 1, e-mail: kuzminecmp@ukr.net.

***Zotko Denys*** – Student, National Transport University (01010, Kyiv, M.Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410A, e-mail: han_solo2901@icloud.com.

УДК 656.07:004

**Дьяченко В.О.**

# ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОРГАНІЗАЦІЇ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ТА ЛОГІСТИЦІ

*У дослідженні висвітлено ключові напрями використання цифрових рішень у транспортній галузі та особливості їх впровадження в сучасні транспортні системи. Висвітлено роль інтелектуальних транспортних систем у покращенні безпеки дорожнього руху та оптимізації логістичних операцій. Визначено основні вектори розвитку та модернізації транспортної інфраструктури України з урахуванням післявоєнної відбудови та інтеграції до європейського простору.*

***Ключові слова:*** *транспортні системи, логістика, інтелектуальні транспортні системи (ITC), безпека руху, цифровізація, сталий розвиток.*

*The study highlights the key areas of use of digital solutions in the transport industry and the features of their implementation in modern transport systems. The role of intelligent transport systems in improving road safety and optimizing logistics operations is highlighted. The main vectors of development and modernization of the transport infrastructure of Ukraine are identified, taking into account post-war reconstruction and integration into the European space.*

***Keywords:*** *transport systems, logistics, intelligent transport systems (ITS), traffic safety, digitalization, sustainable development.*

На сучасному етапі економічного розвитку транспортна сфера стикається з підвищеними вимогами щодо оперативності обробки потоків, рівня безпеки перевезень і гнучкості інфраструктури. Традиційні методи організації дорожнього руху вже не забезпечують належної ефективності в умовах зростання транспортного навантаження та трансформації логістичних маршрутів. У зв'язку з цим цифровізація галузі виступає не просто інноваційним напрямом, а необхідною умовою її стабільного функціонування.

Проблематика безпеки дорожнього руху в Україні виступає одним із ключових стратегічних пріоритетів держави Перерозподіл транспортних потоків, спричинений геополітичними та економічними факторами, призвів до концентрації навантаження на окремих напрямках, передусім у західному регіоні. Разом із цим процес реконструкції транспортної інфраструктури передбачає використання інноваційних рішень, спрямованих на оптимізацію руху та підвищення рівня безпеки.

Важливим напрямом трансформації є запровадження інтелектуальних транспортних систем, що формують єдине інформаційне середовище шляхом поєднання цифрових сервісів, технічної інфраструктури та учасників транспортного процесу. Завдяки цьому стає можливим оперативне реагування на зміни дорожньої ситуації та оптимізація руху транспорту.

1. Практичне застосування ITC охоплює низку технологічних рішень. Зокрема, адаптивне регулювання світлофорів дозволяє автоматично змінювати режими їх роботи залежно від інтенсивності транспортних потоків. Такий підхід базується на аналізі поточних даних і спрямований на зменшення затримок на перехрестях. Системи відеоконтролю та автоматичної фіксації порушень забезпечують підвищення дисципліни водіїв і зниження рівня аварійності. Водночас використання технологій зважування транспортних засобів у русі дає змогу зберігати дорожнє покриття, запобігаючи його передчасному руйнуванню.

Для обґрунтування впровадження адаптивного керування світлофорами (АСУД) можна використати формулу затримки транспорту на регульованому перехресті (модель Вебстера).

Середня затримка одного автомобіля dрозраховується як:

$$d = \frac{c(1-\gamma)^2}{2(1-\gamma x)^2} + \frac{x^2}{2q\,(1-x)} \qquad (1)$$

де c — тривалість циклу регулювання (сек);
$\gamma$ — частка зеленого світла в циклі (g/c);
q— інтенсивність прибуття транспортних засобів;
x — ступінь насичення (q\ $\gamma$s), де s — потік насичення.

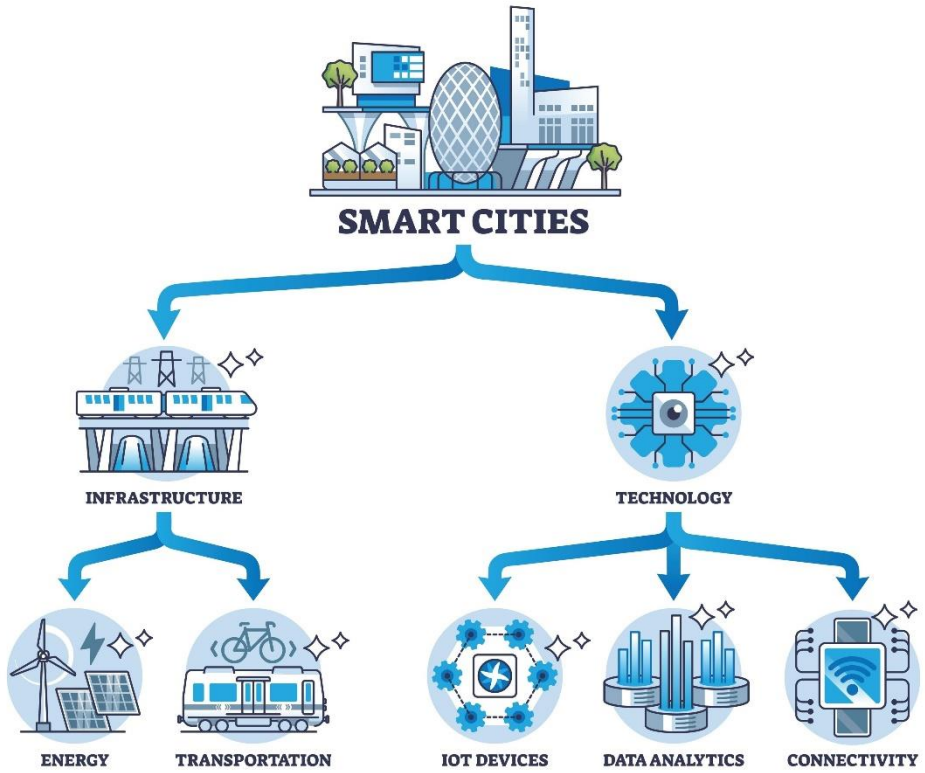



Рисунок 1 – Взаємозв'язок інформаційно-комунікаційних технологій та фізичної інфраструктури в сучасних транспортно-логістичних системах

Важливою складовою є застосування математичних моделей для оцінки ефективності управління рухом. Вони дозволяють визначати оптимальні параметри регулювання та прогнозувати наслідки змін у транспортних потоках. Застосування вказаних моделей у комплексі з цифровими датчиками створює необхідну базу для розробки самоналагоджувальних систем керування. Системи моніторингу та відеофіксації: автоматичний контроль швидкісного режиму та порушень правил маневрування значно знижує рівень аварійності.

2. WIM-системи (Weight-in-Motion): зважування вантажівок у русі захищає дорожнє покриття від передчасного руйнування, що є критичним для логістичної стійкості.

У сфері логістики спостерігається перехід до більш гнучких та прозорих моделей управління перевезеннями. Сучасні підходи передбачають інтеграцію навігаційних систем, аналітичних платформ та технологій обробки даних. Це дає можливість оперативно коригувати маршрути, скорочувати витрати ресурсів і підвищувати точність доставки вантажів.

Інтеграція GPS-моніторингу та блокчейн-технологій у логістичні операції дозволяє:

- Створювати динамічні маршрути залежно від стану доріг та погодних умов.
- Мінімізувати «холості» пробіги транспорту.
- Забезпечувати контроль цілісності вантажу на кожному етапі.

Окрему роль відіграє розвиток мультимодальних перевезень, що передбачає узгоджену взаємодію різних видів транспорту. Для досягнення цілей необхідно впровадити єдину цифрову екосистему, яка забезпечить координацію та прозорий обмін інформацією в межах усього логістичного циклу. Економічні переваги впровадження інтелектуальних рішень проявляються у зниженні експлуатаційних витрат і підвищенні ефективності використання транспорт-

них засобів. Оптимізація маршрутів та зменшення непродуктивних пробігів сприяють зростанню прибутковості підприємств і покращенню якості логістичних послуг.

Оцінка економічного ефекту (Е) від впровадження цифрових інструментів управління логістикою проводиться за методикою порівняння собівартості перевезень до та після автоматизації

$$E = \sum_{i=1}^{n}(L_{олд} \cdot C_{олд} - L_{new} \cdot C_{new}) \cdot Q \quad (2)$$

де L — загальний пробіг транспортних засобів (км);

C — вартість 1 км пробігу (паливо, амортизація, оплата праці);

Q — обсяг перевезених вантажів;

new/old — показники після та до впровадження системи.

За рахунок використання алгоритмів динамічного маршрутування, середній пробіг L зменшується на 10%, що за умови стабільних тарифів підвищує рентабельність логістичного підприємства на 12–15%

Зважаючи на те, що людський фактор залишається основною причиною дорожньо-транспортних пригод, пріоритетним шляхом підвищення безпеки на дорогах є інтеграція систем допомоги водієві (ADAS) та технологій автоматизованого керування. Серед ефективних заходів підвищення безпеки варто виділити використання інженерних рішень для обмеження швидкості в небезпечних зонах, а також застосування цифрового моделювання для аналізу та прогнозування дорожніх ситуацій.

Ключові заходи для підвищення безпеки:

1. впровадження інженерних рішень, що примусово знижують швидкість у небезпечних зонах (острівці безпеки, кільцеві розв'язки).
2. створення віртуальних моделей транспортних систем для моделювання кризових ситуацій та перевірки ефективності нових схем руху до їх впровадження в реальність.
3. Інформаційна взаємодія V2X (Vehicle-to-Everything) – це технологія, що дозволяє автомобілю «спілкуватися» з іншими авто, світлофорами та дорожньою інфраструктурою для попередження зіткнень.

Україна активно адаптує Директиви ЄС (зокрема Директиву 2010/40/EU) щодо розгортання ІТС. Однак існують виклики:

- Необхідність уніфікації протоколів передачі даних.
- Висока вартість початкових інвестицій у сенсорну мережу.
- Кібербезпека транспортної інфраструктури в умовах військових загроз.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця методів забезпечення безпеки руху

| Параметр порівняння | Традиційні методи (знаки, розмітка) | Інтелектуальні системи (V2X, ADAS) | Ефект впровадження |
|---|---|---|---|
| Час реакції на інцидент | 15–20 хв (дзвінок в поліцію) | 0.5–2 хв (автоматичне сповіщення) | Скорочення на 90% |
| Пропускна здатність | Базова (статична) | Динамічна (адаптивна) | Збільшення на 20-25% |
| Ймовірність ДТП | Висока (людський фактор) | Низька (автоматичний контроль) | Зниження на 40% |
| Витрати палива | Високі (цикли зупинка руху) | Оптимізовані (зелена хвиля) | Економія 12-18% |

Порівняльна оцінка класичних та інноваційних методів управління дорожнім рухом демонструє вищу ефективність інтелектуальних транспортних систем (ITS) завдяки їхній здатності до адаптивного реагування на поточні зміни дорожньої ситуації. Вони забезпечують більш швидке реагування на надзвичайні ситуації, підвищують пропускну здатність транспортної мережі та сприяють зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод.

Перспективною технологією є взаємодія транспортних засобів із навколишнім середовищем, що забезпечує обмін даними між автомобілями та інфраструктурою. Це дозволяє своєчасно попереджати про потенційні загрози та знижувати ймовірність аварій.

Аналітичні дані підтверджують: перехід від статичних методів безпеки до технологій V2X та ADAS є фундаментальною зміною парадигми, що забезпечує якісно вищий рівень захищеності всіх учасників дорожнього руху. Ключовою перевагою є радикальне скорочення часу реакції на інциденти (на 90%), що в контексті логістики означає збереження ритмічності постачань, а в контексті безпеки руху — збереження життів учасників дорожнього руху».

Процес інтеграції України до європейського транспортного простору супроводжується адаптацією міжнародних стандартів у сфері інтелектуальних транспортних систем. Попри очевидні переваги, впровадження інтелектуальних систем супроводжується низкою викликів, зокрема: потребою у значному капіталовкладенні, розробкою єдиних стандартів обміну даними та забезпеченням належного рівня кібербезпеки.

**Список використаних джерел:**

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р.
2. Директива Європейського Парламенту та Ради 2010/40/ЄС про засади впровадження інтелектуальних транспортних систем у сфері дорожнього транспорту та взаємодію з іншими видами транспорту.
3. Лобашов О. К. Методологія та теоретичні засади формування міських транспортних потоків. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. 230 с.
4. Гіржева О. М. Стратегічні підходи до оптимізації транспортних мереж у логістичному менеджменті. Київ: ЦУЛ, 2021. 184 с.
5. Крисоватий І. А. Впровадження цифрових інструментів у логістичні процеси та управління ланцюгами постачання. Тернопіль: ЗУНУ, 2022. 210 с.
6. Аналітичний огляд стану дорожньо-транспортного травматизму в Україні за 2024–2025 роки (за даними офіційної звітності Патрульної поліції).

***Дьяченко Вікторія Олександрівна*** *– викладач методист ВСП Автотранспортного фахового коледжу КНУ, м. Кривий Ріг, вул. Е.Фукса 26А, e-mail: dyachenko@atkknu.com.ua*

***Dyachenko Viktoriia Oleksandrovna*** *– teacher-methodist separate structural unit of the Motor Transport Vocational College of KNU, Kryvyi Rih, E.Fuksa St. 26A, e-mail: dyachenko@atkknu.com.ua*

УДК 656.13

**Жук М.М., Ковалишин В.В.**

# ОЦІНКА ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ТА ПОГОДНИХ УМОВ НА ІНТЕРВАЛИ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА БАГАТОСМУГОВИХ ДОРОГАХ

*У роботі досліджено вплив швидкісного режиму та погодних умов на інтервали руху транспортних засобів на багатосмугових дорогах. На основі натурних досліджень встановлено, що за мокрого дорожнього покриття інтервали руху зростають у середньому на 15-22% порівняно із сухими умовами. Водночас виявлено підвищення швидкості руху на 10-11%, що пояснюється зменшенням щільності транспортного потоку та збільшенням простору для маневрування. Отримані результати підтверджують необхідність урахування погодних чинників при моделюванні транспортних потоків і організації дорожнього руху.*

***Ключові слова:*** *транспортний потік, інтервал руху, швидкість, погодні умови, багатосмугова дорога, безпека руху.*

*This study investigates the influence of speed and weather conditions on vehicle headways on multi-lane roads. Based on field observations, it was found that under wet pavement conditions, headways increase by 15-22% compared to dry conditions. At the same time, vehicle speeds increase by 10-11%, which can be explained by reduced traffic density and increased maneuvering space. The obtained results confirm the necessity of considering weather factors in traffic flow modeling and traffic management.*

***Key words:*** *traffic flow, vehicle headway, speed, weather conditions, multi-lane road, road safety.*

У сучасних умовах розвитку транспортних систем, що супроводжуються інтенсивним зростанням рівня автомобілізації та урбанізації, спостерігається суттєве ускладнення функціонування міських транспортних потоків. Збільшення інтенсивності руху на магістральних вулицях призводить до зростання щільності транспортного потоку, зниження його стійкості та підвищення ймовірності виникнення аварійних ситуацій. Одним із ключових параметрів, що характеризує стан транспортного потоку та рівень безпеки дорожнього руху, є інтервали руху між транспортними засобами, які визначають їх взаємодію у потоці та впливають на пропускну здатність доріг.

У наукових дослідженнях інтервали руху розглядаються як базова характеристика мікроскопічних моделей транспортного потоку [1]. Встановлено, що вони тісно пов’язані зі швидкістю руху, щільністю транспортного потоку та поведінковими характеристиками водіїв [2]. Значна увага приділяється впливу погодних умов, які здатні змінювати параметри транспортного потоку як через фізичні чинники (зниження коефіцієнта зчеплення, погіршення видимості), так і через зміну поведінки водіїв [3]. Водночас дослідження показують, що застосування регулювання швидкісного режиму, зокрема змінних обмежень швидкості, дозволяє підвищити стабільність транспортного потоку та зменшити варіацію інтервалів [4]. Окремі наукові роботи також підкреслюють важливість урахування психофізіологічних особливостей водіїв, які суттєво впливають на вибір дистанції між транспортними засобами [5-6].

З урахуванням зазначеного, метою дослідження є оцінка зміни інтервалів руху транспортних засобів на багатосмугових дорогах залежно від швидкості руху та погодних умов, а також визначення їх впливу на безпеку та ефективність функціонування транспортного потоку.

Дослідження виконано на магістральній вулиці міста Львова (вул. Наукова), яка має три смуги руху в кожному напрямку та характеризується значною інтенсивністю транспортного потоку. Збір даних здійснювався методом натурних спостережень із використанням відеофіксації, що дозволило отримати достовірні значення швидкості руху, інтервалів та структури транспортного потоку. Обробка даних проводилася із застосуванням статистичних методів,

що забезпечило можливість визначення середніх значень, довірчих інтервалів та граничних характеристик розподілів.

Експериментальні дослідження виконувалися за двох характерних умов: сухого та мокрого дорожнього покриття. Загальна інтенсивність транспортного потоку в обох випадках становила 900-1000 авто/год, що забезпечило коректність порівняння результатів. Водночас погодні умови суттєво впливають на структуру транспортного потоку, зокрема на розподіл транспортних засобів по смугах руху. За мокрого дорожнього покриття спостерігається зменшення використання правої смуги та зростання навантаження на середню і ліву смуги, що свідчить про зміну поведінки водіїв у напрямі вибору більш стабільних траєкторій руху із збереженням вхідної інтенсивності транспортного потоку.

Для узагальнення результатів дослідження виконано порівняльний аналіз основних параметрів транспортного потоку, який наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Узагальнені характеристики транспортного потоку за різних погодних умов

| Показник | Сухе покриття | Мокре покриття |
|---|---|---|
| Середній інтервал руху, с | 3,04 | 3,51 |
| Інтервал руху (за 85% забезпечення), с | 5,06 | 6,19 |
| Швидкість руху (за 85% забезпечення), м/с | 15,0 | 16,67 |
| Частка безпечних інтервалів, % | 35-40 | 30-35 |

Аналіз отриманих даних показує, що за умов мокрого дорожнього покриття інтервали руху між транспортними засобами зростають у середньому на 15-22% порівняно із сухими умовами. Це пояснюється необхідністю забезпечення більшої безпечної дистанції в умовах мокрого дорожнього покриття та підвищення рівня небезпеки. При цьому збільшення інтервалів руху призводить до зменшення щільності транспортного потоку.

Важливим результатом дослідження є встановлення факту зростання швидкості руху транспортних засобів за мокрого дорожнього покриття на 10-11%. Така закономірність може бути пояснена тим, що збільшення інтервалів руху створює більш вільні умови для руху транспортних засобів, що дозволяє водіям реалізовувати вищі швидкості навіть за несприятливих погодних умов. У результаті відбувається складний перерозподіл параметрів транспортного потоку, при якому зниження щільності компенсується підвищенням швидкості руху.

У ході дослідження було також встановлено, що значна частка водіїв не дотримується принципів безпечної дистанції між транспортними засобами під час руху. Аналіз отриманих даних вказує на те, що за умов сухого дорожнього покриття лише приблизно 35-40% автомобілів рухаються з інтервалами, які відповідають прийнятим нормам безпеки. Водночас за погіршення погодних умов (мокре покриття дороги) цей показник знижується до рівня 30-35%. Така статистика демонструє наявність ризику виникнення небезпечних ситуацій на дорогах через недостатню увагу водіїв до регламентованої дистанції, що стає особливо актуальним у випадках, коли дорожні умови змінюються на несприятливі.

Порівняння отриманих результатів із класичними моделями транспортного потоку показало, що фактичні інтервали руху в сучасних умовах є більшими, ніж передбачають традиційні підходи [1, 4]. Це може бути пов’язано зі зміною поведінкових характеристик водіїв, підвищенням вимог до безпеки, кращими технічними характеристиками транспортних засобів та зростанням неоднорідності транспортного потоку. Отримані результати підтверджують необхідність уточнення існуючих моделей транспортних потоків з урахуванням сучасних умов їх функціонування.

Отримані результати мають практичне значення та можуть бути використані при моделюванні транспортних потоків, прогнозуванні їх параметрів, а також при розробленні заходів з організації дорожнього руху. Зокрема, доцільним є впровадження адаптивних систем управління швидкістю руху, які враховують зміну погодних умов у реальному часі, а також удосконалення підходів до визначення безпечної дистанції руху.

Окрім того, увагу слід приділити удосконаленню методик визначення безпечної дистанції руху для різних категорій транспортних засобів та різноманітних типів доріг. Інтервали між автомобілями будуть точніше розраховуватися з урахуванням комбінованого впливу дорожніх умов, швидкісного режиму й маневреності транспортних засобів. Запропонований підхід до моделювання дозволить не тільки оптимізувати організацію дорожнього руху, але й зменшити кількість аварійних ситуацій, спричинених нехтуванням вимог безпеки. Також важливим завданням є підвищення освітнього рівня водіїв через проведення інформаційно-просвітницьких кампаній та тренінгів з метою покращення їхньої обізнаності щодо дотримання безпеки на дорогах за різних умов.

**Список використаних джерел**

1. Treiber M., Kesting A. Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation. *Berlin: Springer*, 2017. 637 p. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32460-4
2. Knoop V., Hoogendoorn S. Free Flow Capacity and Queue Discharge Rate: Long-Term Changes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,* 2022. 2676(7), 483-494. https://doi.org/10.1177/03611981221078845
3. Pavlou D., Christodoulou G., Yannis G. The impact of weather conditions and driver characteristics on road safety on rural roads. *Transportation Research Procedia.* Volume 72, 2023, Pages 4081-4088. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.369
4. Papageorgiou M., Kosmatopoulos E., Papamichail I. Effects of variable speed limits on motorway traffic flow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2008. Vol. 16, No. 4. P. 415–433. https://doi.org/10.3141/2047-05
5. Форнальчик Є. Ю., Могила І. А., Трушевський В. Е., Гілевич В. В. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія / за ред. Є. Ю. Форнальчика. Львів, 2018. 236 с.
6. Helman S., Reed N. Validation of the driver behaviour questionnaire using behavioural data from an instrumented vehicle and high-fidelity driving simulator. *Accident Analysis & Prevention*. Volume 75, February 2015, Pages 245-251 https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.12.008

***Жук Микола Миколайович*** **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 32, ауд. 203, e-mail: mykola.m.zhuk@lpnu.ua).

***Ковалишин Володимир Володимирович*** **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 32, ауд. 203,e-mail: volodymyr.v.kovalyshyn@lpnu.ua).

***Zhuk Mykola*** **–** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Technologies at the Institute of Mechanical Engineering and Transport of the Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, Stepan Bandera Street, 32, room 203, e-mail: mykola.m.zhuk@lpnu.ua).

***Kovalyshyn Volodymyr*** **–** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Technologies at the Institute of Mechanical Engineering and Transport of the Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, Stepan Bandera Street, 32, room 203, e-mail: volodymyr.v.kovalyshyn@lpnu.ua).

УДК 656.13: 519.87: 658.562

**Загорянський В.Г., Тесленко А.А.**

# МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

*Запропонований підхід до моделювання задачі підвищення якості транспортно-технологічних систем пасажирських перевезень шляхом вибору раціонального комплексу організаційно-технічних заходів із застосуванням економіко-математичних методів за умов ресурсних обмежень на основі аналізу особливостей функціонування ринку пасажирських перевезень автомобільним транспортом.*

***Ключові слова:*** *пасажирські перевезення; автомобільний транспорт; транспортно-технологічна система; інтегральний коефіцієнт якості транспортних послуг.*

*An approach to modeling the problem of improving the quality of transport and technological systems of passenger transportation by choosing a rational set of organizational and technical measures with the use of economic and mathematical methods under resource constraints based on an analysis of the features of the functioning of the passenger transportation market by road transport is proposed.*

*Keywords: passenger transportation; road transport; transport and technological system; integral coefficient of quality of transport services.*

Пасажирські перевезення, відповідно до чинного законодавства, характеризуються певними особливостями функціонального використання автомобільного транспорту, а також мають визначені класифікаційні ознаки у сфері транспортної діяльності [1].

Функціонування ринку пасажирських перевезень безпосередньо відображається на рівні якості транспортних послуг, що характеризується сукупністю властивостей процесу перевезення, які забезпечують задоволення потреб пасажирів у здійсненні поїздок відповідно до встановлених нормативно-правових вимог [2].

Ринок пасажирських перевезень автомобільним транспортом виступає специфічною сферою досліджень, у межах якої вирішується значна кількість прикладних завдань [3].

Ключовим поняттям у дослідженні ринку пасажирських перевезень автомобільним транспортом є категорія «послуга пасажирських перевезень». Доцільно розглядати її у ширшому контексті поняття транспортної послуги. З урахуванням законодавчо визначених положень можна сформулювати специфіку послуг пасажирських перевезень автомобільним транспортом як діяльність, спрямовану на задоволення потреб у перевезенні, що передбачає переміщення пасажирів та їх майна із використанням автомобільних транспортних засобів.

Неконтрольоване зростання цін на нафтопродукти призвело до зростання тарифів на перевезення пасажирів. Загалом темпи зростання тарифів на перевезення пасажирів випереджають, наприклад, темпи зростання цін на продукти харчування та на автомобілі, внаслідок чого різко скоротився платоспроможний попит населення на перевезення.

Матеріальною основою вдосконалення якості є впровадження різних заходів.

Впровадження різноманітних заходів по-різному впливає ті чи інші показники якості роботи підприємства. Комплексне управління якістю передбачає включення до плану впровадження на черговий період найефективніших заходів. Це завдання вирішують у два етапи. На першому етапі формують список потенційно можливих для впровадження заходів, використання яких у аналізований період ресурсно забезпечено.

Критеріями ресурсної забезпеченості заходів є такі основні міркування:

– витрати застосування не повинні перевищувати фінансових можливостей АТП;

– трудомісткість застосування має перевищувати можливостей АТП;

– необхідне застосування устаткування, будівельні матеріали та інші матеріальні цінності може бути отримані до розрахункового терміну;

– до списку потенційно можливих заходів насамперед включають ті, впровадження яких можливе в найкоротші терміни;

– заходи повинні мати кадрове забезпечення (необхідна кількість та кваліфікація кадрів для експлуатації об'єктів, що впроваджуються), бути забезпечені проєктною та методичною документацією.

Для вирішення завдання вибору раціональних заходів, що підлягають впровадженню, використовують математичні методи та програмне забезпечення.

У загальному вигляді формулюємо завдання роботи: є набір потенційно можливих запровадження заходів із характеристикою очікуваного ефекту пов'язані з використанням витратами, трудомісткістю.

Позначимо: $Д_{ij}$ – очікувана зміна бажаності і-го показника якості при впровадженні j-го заходу. При впровадженні заходу інтегральний коефіцієнт якості роботи зміниться і складе:

$$Q_{інт} = \sqrt[i]{\prod^{i}\left(Д_i + \Delta Д_{ij}\right)} \quad (1)$$

Звідси визначимо очікуваний ефект щодо зміни інтегрального коефіцієнта якості роботи:

$$E_j = Q_{інт2} - Q_{інт1}, \quad (2)$$

де $Q_{інт2}$ – інтегральний коефіцієнт якості роботи після впровадження заходу, $Q_{інт1}$ – інтегральний коефіцієнт якості роботи до впровадження заходу.

Цільову функцію задачі сформулюємо наступним чином: вибрати такий набір заходів з числа допустимих, при якому буде досягнуто максимального підвищення інтегрального коефіцієнта якості та буде виконано обмеження на граничні витрати та трудомісткість впровадження заходів:

$$Q_{інт} = \sum_{j=1}^{n} E_j \cdot b_j \to \max, \quad (3)$$

обмеження задачі:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} B_j \cdot b_j \le [B] \\ \sum_{j=1}^{n} T_j \cdot b_j \le [T] \end{cases} \quad (4)$$

де $b_j$ – допоміжна керована булева змінна (приймає значення 1, якщо заходи з номером j включають до плану впровадження, і 0 – в іншому випадку), [B] – гранично допустимі витрати впровадження комплексу заходів; [T] – трудомісткість впровадження комплексу заходів.

Таким чином, особливої уваги потребує аналіз особливостей формування ринкових відносин, структури учасників ринку, а також закономірностей формування вартості та якості транспортних послуг. У зв'язку з цим важливим є поєднання нормативно-правових регламентів із науковими підходами до трактування базових понять і категорій у сфері автомобільного транспорту та пасажирських перевезень.

**Список використаних джерел**

1. Про автомобільний транспорт : Закон України № 2344-III від 5.04.2001 року. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14 (дата звернення: 23.03.2026).

2. Назаренко Я. Я. Теоретичні аспекти управління якістю перевезень пасажирів автомобільним транспортом. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. 2013. Вип. 12. С. 313–318.

3. Голубка С. М., Голубка В. М. Послуги пасажирських перевезень автомобільним транспортом у системі ринкознавства. *Автомобільний транспорт та інфраструктура*: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. (Київ, 23–26 квітня 2020 р.). С. 14–16.

***Загорянський Володимир Георгійович*** — доктор технічних наук, доцент, професор кафедри транспортних технологій Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, (39600, м. Кременчук, Університетська, 20, e-mail: zagor_vlad@ukr.net).

***Тесленко Арсеній Арсенійович*** — здобувач вищої освіти на другому (магістерському) рівні вищої освіти за спеціальністю J8 «Автомобільний транспорт», ОПП «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (39600, м. Кременчук, Університетська, 20, e-mail: zagor_vlad@ukr.net).

***Volodymyr Zahorianskyi*** –Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Transport Technologies Department of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (39600, Kremenchuk, Universitets'ka Street, 20, e-mail: zagor_vlad@ukr.net).

***Arsenij Teslsenko*** – higher education student at the second (master's) level of higher education in the specialty J8 «Automobile transport», EPP «Transport Technologies (on automobile transport)», Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (39600, Kremenchuk, Universitets'ka Street, 20, e-mail: arsenteslenko@gmail.com).

УДК 621.317

**Захарчук В.І., Феденчук Т.Б., Мороз М.М.**

# ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ

*Збільшення використання альтернативних палив невідворотнє. Означено перспективи виробництва біопалив другого покоління з біомаси та інших джерел. Коротко проаналізовані сучасні технології та технології, що знаходяться на стадії розробки. Таким чином, завдання полягає в тому, щоб суттєво збільшити виробництво біопалива за рахунок використання інноваційних процесів і технологій.*
***Ключові слова:*** *біопалива, друге покоління, технології використання*

*The increase in the use of alternative fuels is inevitable. Prospects for the production of second-generation biofuels from biomass and other sources are determined. Modern technologies and technologies under development are briefly analyzed. Thus, the task is to significantly increase biofuel production through the use of innovative processes and technologies.*
***Keywords:*** *biofuels, second generation, utilisation technologies*

Для сталого зростання та розвитку енергоємного суспільства потрібен безперервний внесок енергії в різних формах. У 2019 році глобальне загальне енергопостачання становило ~14,282 млн тонн нафтового еквівалента) на рік. Прогнозується, що до кінця 2030 та 2040 років потреба в енергії зросте до ~16,000 млн т та ~18,000 млн т відповідно. Ці цифри можуть бути ще вищими, оскільки відновлювальні виробничі сектори, глобальні економіки повертаються на шлях розвитку, а також через несподівані геополітичні порушення, що впливають на енергетичну безпеку в усьому світі. Для збільшення потоку енергії в систему, як звичайні, невідновлювані джерела енергії (викопне паливо), так і нетрадиційні (відновлювані джерела енергії, такі як сонячні, вітрові, гідро-, геотермальні, біохімічні та припливні джерела енергії), невпинно досліджуються для передових винаходів та нових технологій для підвищення ефективності перетворення енергії та видобутку енергії, щоб впоратися з цим викликом.

Для сталого прогресу в суспільствах потрібні швидкі досягнення в ланцюжках поставок, збільшення логістики, збільшення пасажирського та вантажного руху, що робить перевезення одним із секторів, що вимагають енергії, споживаючи основну частку загальної енергії, виробленої. Цей сектор в основному споживає рідке викопне паливо, в основному бензин і дизельне паливо. Нещодавній сплеск кількості вироблених/проданих автомобілів по всьому світу та автоматизації автомобільної промисловості призвів до стійкого зростання вуглецевого сліду транспортних засобів, що також зробило транспортний сектор одним з основних секторів забруднення. Швидке просування та трансформація транспортної галузі призводить до більш ніж 1,2 мільярда транспортних засобів на дорогах [1]. Це призвело до величезного зростання щоденного споживання нафти і тим самим збільшення викидів на душу населення. Прогнозується, що до 2050 року кількість пройдених кілометрів/рік у секторах пасажирських та вантажних перевезень буде подвоєна, що вимагатиме багаторазової сьогоднішньої потреби в нафті (99 мільйонів барелів нафти на день. Це ще більше посилює побоювання щодо наслідків забруднення від споживання бензину в поточному та майбутньому парках транспортних засобів.

Біопалива мають ряд переваг у порівнянні з іншими паливами. Використовуючи сучасні біотехнології з одного гектара землі, можна отримати в 2…3 рази більше біопалива [2]. Принципова різниця між біопаливом другого покоління та біопаливом першого покоління – можливість використання ширшого спектру біомас, у тому числі відносно дешевих. Ці джерела включають нехарчову біомасу, призначену для одержання енергії рослини, та інші ресурси з біомаси: солома та відходи лісозаготівель та деревообробки тощо.

Біопалива другого покоління можуть відрізнятися за хімічним складом від альтернативного біопалива першого покоління. Наприклад, синтетичне дизельне паливо за основними експлуатаційними властивостями (цетанове число, стабільність, вміст сірки тощо) перевершує біодизель першого покоління або продукти, які отримують при перегонці нафтохімії; проте біоетанол другого покоління (лінгоцелюлоза) хімічно ідентичний тому, що доступне сьогодні [3].

Технології біопалив другого покоління мають переваги, дозволяючи виробляти вуглеводні, які є абсолютно сумісними з існуючими паливами, що дуже важливо для розвитку інфраструктури та створення паливних сумішей (традиційне паливо + альтернативне). Крім того, термохімічні процеси дозволяють виробляти синтетичні бензин та дизель [4].

Термохімічні технології виробництва біопалива другого покоління включають:

• газифікація біомаси для створення синтетичного газу;

• піроліз, миттєвий піроліз для виробництва біомасел чи сумішей як носіїв енергії;

• гідротермальна обробка сирої біомаси;

• синтез Fisher-Tropsch вуглеводнів із синтетичного газу з відповідними процесами перегонки та обробки.

До біопалив другого покоління відносять відновлюваний дизель HVO. Для його вироблення використовується непряма харчова сировина (наприклад, тваринні жири, відпрацьована олія тощо). Лідером виробництва даного виду біопалива є компанія Neste Oil, яка по суті розробила процес NexBTL для виробництва дизельного палива, що відновлюється. На сьогоднішній день компанія має 4 заводи (2 у Фінляндії та по 1 у Сінгапурі та Роттердамі), які можуть виробляти палива з широкого спектру масел [5].

Без сумніву ця технологія є високоефективною. Вона дозволяє виробляти високоякісне паливо і бути дуже ефективними з погляду економіки. Для порівняння: при звичайній етерифікації, навіть якщо умовно з 1 л масла зробити 1 л палива, то за вартості, припустимо, ріпакової олії близько 1300 дол/т отримається дизельне паливо мінімум по 1,20 євро. І це ще без податків та націнки роздрібних мереж. Тобто на сьогоднішній день за таких високих цін на рослинні олії це просто невигідно [6].

Значні перспективи мають також такі палива, як біометан та синтез газ. Біометан отримується очищенням біогазу від домішок, а синтез-газ є продуктом переробки твердих відходів рослинництва та лісозаготівель.

Висновки. Біопалива другого покоління мають низку переваг над традиційним викопним паливом та над біопаливом першого покоління. Ці переваги включають здатність досягти суттєвого зменшення викидів парникових газів, а також значні зменшення витрат на отримання.

**Список використаних джерел**

1. J. Amaya, M. Delgado-Lindeman, J. Arellana, J. Allen/ Urban freight logistics: what do citizens perceive? Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., 152 (2021), Article 102390, doi: 10.1016/ j.tre.2021.102390.

2. Biothanol and the Ethanol Industry today. US. DOE. Biomass Prjgram: http:// www.DOE Biomass Publications.htm.

3. Biofuels for transport: http://www.IEA.org/books.

4. Biofuels for Sustainable Transportation: http://www.IEA.org.

5. Интернет ресурс: http://altfuel.com.

6. Biofuels in the European Union a vision for 2030 and beyond. Final draft report of the Biofulels Research Advisory Council. 2006. 31 p.

***Захарчук Віктор Іванович*** **–** доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій, національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: viktorzakharchuklntu@gmail.com

***Феденчук Тарас Богданович*** – магістрант кафедри автомобілів і транспортних технологій, національний технічний університет, м. Луцьк
***Мороз Микола Михайлович*** – магістрант кафедри автомобілів і транспортних технологій, національний технічний університет, м. Луцьк

***Zakharchuk Viktor Ivanovich*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, National Technical University, Lutsk, e-mail: viktorzakharchuklntu@gmail.com
***Fedenchuk Taras Bogdanovych*** **–** master's student of the Department of Automobiles and Transport Technologies, National Technical University, Lutsk
***Moroz Mykola Mykhailovych*** **–** Master's student of the Department of Automobiles and Transport Technologies, National Technical University, Lutsk

УДК 621. 787.4

**Зінченко І.Б., Кирик С.С., Крук О.Ю.**

# ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ РОТАЦІЙНИМ СПОСОБОМ

*У роботі розглянуто формування частково регулярних мікрорельєфів ротаційним способом як доступну альтернативу традиційним методам текстурування, що потребують верстатів з ЧПК. Розроблено інструмент зі змінними деформувальними елементами різного діаметра, який забезпечує керування площею мікрорельєфу та призначений для експериментальної перевірки аналітичних залежностей між режимами формування і параметрами поверхні.*

***Ключові слова:*** *частково регулярні мікрорельєфи, канавки, ротаційний метод, інструмент*

*The study considers the formation of partially regular microreliefs by a rotary method as an accessible alternative to conventional surface texturing techniques that require CNC machine tools. A tool with interchangeable deforming elements of various diameters has been developed, enabling control of the microrelief area and intended for the experimental validation of analytical relationships between processing modes and surface parameters.*

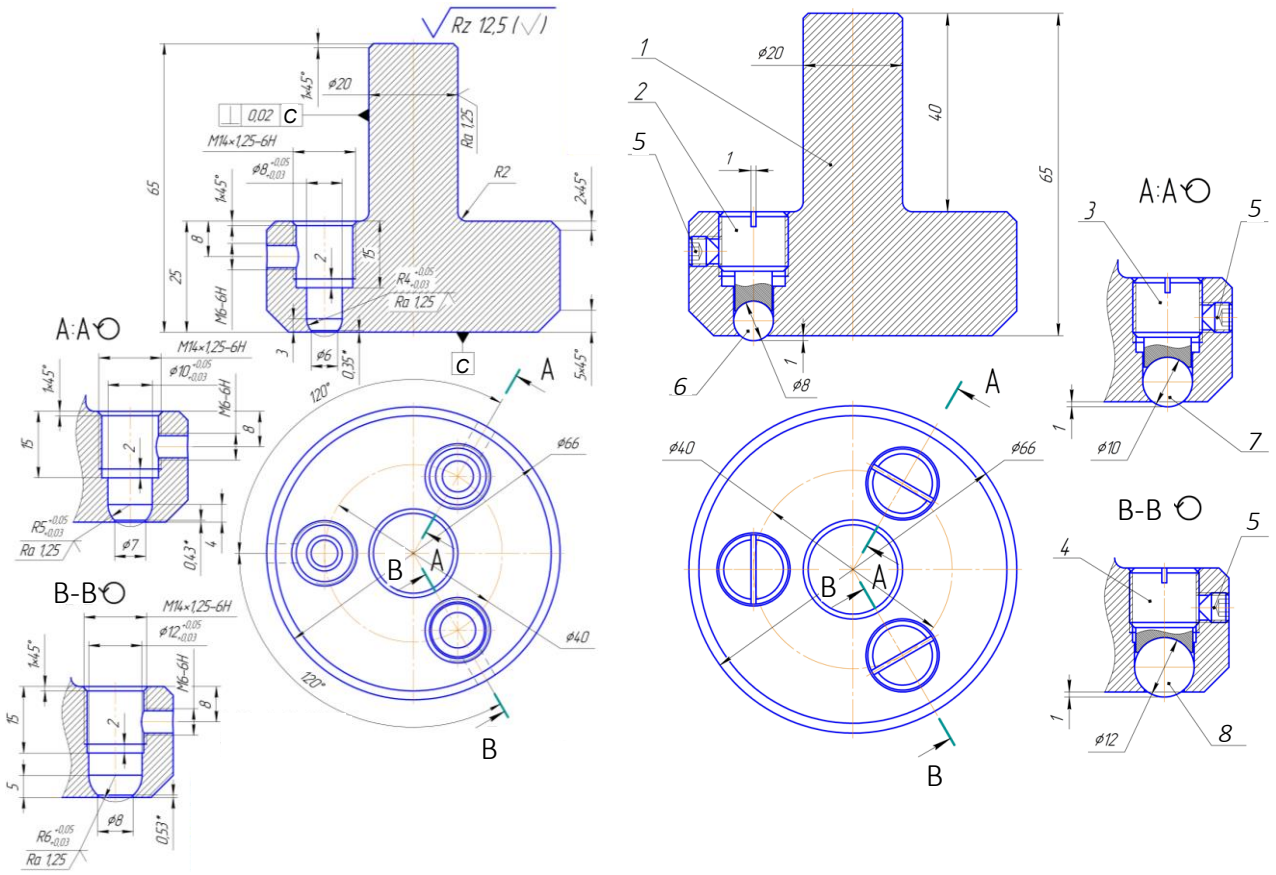
***Keywords****: partially regular microreliefs, grooves, rotary method, tool.*

Створення регулярних мікрорельєфів – процес технологічно складний, складність якого обумовлена у забезпеченні регулярності створюваних мікронерівностей. В основному його виконують на дороговартісних верстатах з числовим програмним керуванням. Сучасні дослідження показують, що для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей поверхонь з регулярним мікрорельєфом важлива не так регулярність канавок мікрорельєфу, як співвідношення площі елементів (канавок) мікрорельєфу до площі поверхні на яких фони сформовані. Це відкриває певні перспективи щодо формування технологічно простіших форм канавок мікрорельєфу, які можна формувати на верстатах загального призначення. Такі канавки утворюються із поєднанням двох формувальних рухів – обертового та руху подачі, які забезпечуються практично будь-яким металорізальним верстатом. Створені таким чином мікрорельєфи називаються ротаційними. Визначення площі канавок таких мікрорельєфів є важливою задачею, оскільки визначатиме рівень експлуатаційних властивостей поверхні, на якій вони будуть утворені.

Формування ротаційних мікрорельєфів методом обкатування представлено в роботах [1, 2]. Цей метод моделювання дозволяє забезпечити трохоїдальні та еліптично модифіковані трохоїдальні траєкторії інструментів, а також необхідну відстань між петлями, перекриття. Основними елементами режиму формування є осьова подача інструменту чи стола та швидкість обертання шпинделя верстату, у який встановлено інструмент. Технологія реалізується на фрезерних верстатах. Недоліком такої схеми формування мікрорельєфу є те, що на обробленій поверхні утворюються зони із неоднорідними властивостями. Це відбувається внаслідок нерівномірного проходження деформувального елемента інструменту по оброблюваній поверхні. При цьому можуть спостерігатись зони із перезміцненням поряд із зонами на яких вплив деформувального елемента відсутній.

Науковий підхід при якому попереднє визначення траєкторії робочих частин інструменту є вихідними даними для визначення конструктивних параметрів чи режимів роботи інструменту є досить поширеним і часто використовується в машинобудуванні. Це в свою чергу дозволило спроектувати інструмент для формування частково регулярних мікрорельєфів ротаційним способом (рис. 1).

.




a b

Рисунок 1 – Спроектований інструмент для формування частково регулярних мікрорельєфів ротаційним способом: a – корпус інструменту; b – загальна будова інструменту
1 – корпус; 2, 3, 4 – затискні гвинти; 5 – гужон; 6, 7, 8 – деформувальні елементи

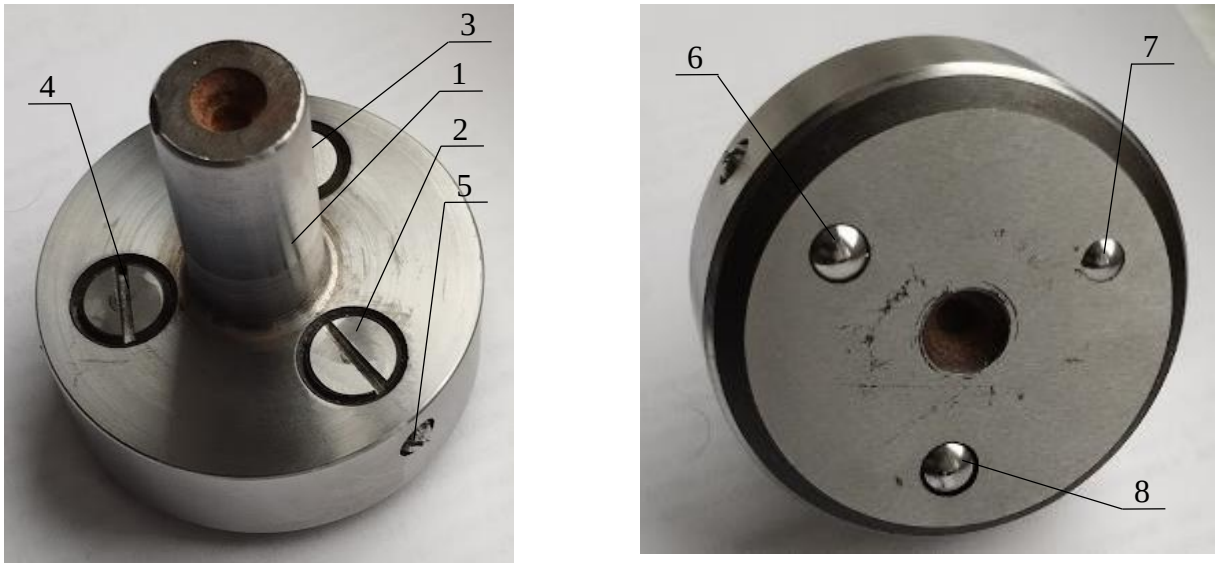



Рисунок 2 – Виготовлений інструмент для формування частково регулярних мікрорельєфів ротаційним способом

Попередніми дослідженнями встановлено, що саме відбиток деформувального елемента чинить найбільший вплив на зміну площі канавки, а відстань від центра обертання інструменту до осі деформувального елемента є менш впливовим параметром. Саме тому при проектуванні інструменту закладено можливість вибору діаметра деформувального елемента. Спроектований та виготовлений інструмент (рис. 2) передбачає використання одного з трьох

запропонованих варіантів діаметра деформувального елемента – 8, 10 та 12 мм. Таке конструктивне рішення у поєднанні із обраними режимами обробки дозволить змінювати площу канавок частково регулярного мікрорельєфу у широкому діапазоні значень.

Інструмент (рис. 2) спроектовано для проведення експериментальних досліджень, де б досліджували форму канавок мікрорельєфу сформованого ротаційним способом, а також ширину утворених канавок, як факторів, що чинять найбільший вплив на зміну площі канавок сформованого мікрорельєфу. Мінімальні відхилення сформованої форми канавки в залежності від заданих режимів формування від теоретично отриманої форми канавки дозволить підтвердити правильність проведених теоретичних розрахунків, та в подальшому застосовувати отримані аналітичні залежності для визначення параметрів 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. Kovács, Zsolt & Kónya, Gábor & Markó, Balázs & Póka, György. (2025). Experimental and Theoretical Investigation of the Influence of Tool Paths and Burnishing Parameters on the Quality of the Burnished Surface by Magnetic Assisted Ball Burnishing. Results in Engineering. 27. 105779. 10.1016/j.rineng.2025.105779.

***Зінченко Ігор Богданович*** **–** аспірант кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (46000, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, e-mail: zinchenko-i@ukr.net).

***Кирик Сергій Сергійович*** – аспірант кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (46000, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, e-mail: kyryk_sergii@ukr.net ).

***Крук Олег Юрійович*** – аспірант кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (46000, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, e-mail: volodymyrdzyura@gmail.com ).

***IhorZinchenko*** **–** postgraduate student of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 46000, Ruska st., 56

***Sergii Kykyk*** – postgraduate student of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 46000, Ruska st., 56.

***Oleh Kryk*** – postgraduate student of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 46000, Ruska st., 56.

УДК 711.7; 711.553

**Ігнатьєва В.Б.**

# ВЕЛОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ В СТРУКТУРІ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

*Розглянуто проблеми перевантаження транспортної мережі міста та можливості їх вирішення за рахунок використання веломобілів. Визначено їх основні переваги, а також роль у покращенні екологічної ситуації, мобільності населення та організації міського простору.*

***Ключові слова:*** *веломобіль, біотранспорт, міська мобільність, житловий район, транспортна інфраструктура, житлова забудова.*

*The problems of congestion in the city's transport network and the potential for resolving them through the use of velomobiles are examined. Their main advantages are identified, as well as their role in improving the environmental situation, public mobility and the organisation of urban space.*

***Key words:*** *velomobile, biotransport, urban mobility, residential area, transport infrastructure, urban development.*

В умовах швидкого зростання міського населення, збільшується кількість транспортних засобів. В результаті спостерігається перевантаження вулично-дорожної мережі і, як наслідок, формуються затори, які знижують середню швидкість руху транспорту, погіршується екологічна ситуація та знижується якість життя населення. Найбільше це відчувається у межах житлових районів, де люди проживають, відпочивають та здійснюють щоденні поїздки. Класичні види транспорту (автомобілі, автобуси, тролейбуси, трамваї) часто не забезпечують ефективного вирішення проблеми. Тому, проблема організації транспортного обслуговування та благоустрою міського простору є актуальною [1-4].

Досвід окремих країн світу (Швеція, Данія, Нідерланди) показує, що широке використання індивідуальних транспортних засобів на основі велосипеда та подібних йому конструкцій, суттєво зменшує перевантаження вулично-дорожної мережі, покращує екологічну ситуацію та підвищує мобільність населення [5-8]. В умовах щільної житлової забудови, де пріоритетними є ефективне використання простору та створення комфортного середовища для проживання, це особливо важливо. Тому використання індивідуального біотранспорту в структурі міської забудови є одним із перспективних напрямків розвитку транспортної системи.

Одним з найпопулярніших на сьогоднішній день видів біотранспортних засобів на базі велосипеда є веломобіль. Але, станом на сьогодні, веломобілі поки що рідко зустрічаються на дорогах українських міст. Головними проблемами залишаються недостатньо розвинена інфраструктура, відсутність окремих смуг для такого транспорту, брак зручних місць для його зберігання та загалом невисока популярність цього способу пересування [6].

Розглянемо перспективи розвитку цього виду транспорту в Україні.

Перспективи розвитку веломобільного транспорту тісно пов'язані зі створенням збалансованої системи міської мобільності.

Веломобіль – це транспортний засіб із мускульним приводом, що поєднує в собі простоту, економічність і екологічність велосипеда з комфортом та стійкістю автомобіля [6]. Він відрізняється поліпшеною аеродинамікою, захистом від несприятливих погодних умов, зручною посадкою та підвищеним рівнем комфорту під час використання. На відміну від звичайного велосипеда, веломобіль не потребує постійного утримання рівноваги, тому він є зручним і безпечним для людей різного віку [6, 9]. Крім того, веломобіль позитивно впливає на фізичне здоров'я, оскільки під час руху здійснюється фізична активність, що сприяє зниженню наслідків малорухливого способу життя. Веломобілі мають відносно невелику вагу – зазвичай 10-30 кг, що значно менше за масу автомобілів [6]. Це дозволяє зменшити навантаження на дорожню інфраструктуру та спрощує вимоги до неї. Швидкість веломобіля залежить від індивідуальних якостей веломобіліста і дороги. У міських умовах він може розвивати швидкість до 50 км/год.

Середня швидкість автомобілів у центральних районах міста приблизно 30 км/год., а швидкість громадського транспорту зазвичай становить 15-20 км/год [6, 9]. Крім того, автомобілі часто простоюють у заторах, тоді як веломобіль забезпечує більш стійкий і прогнозований рух, особливо на коротких і середніх дистанціях.

З позиції організації міського простору веломобілі мають істотні переваги, оскільки потребують значно меншої площі як для руху, так і для паркування. Для одного веломобіля достатньо території площею приблизно 2-3 м², що дозволяє суттєво оптимізувати використання прибудинкових територій і громадських просторів. Наприклад, на площі одного автомобільного паркомісця можна розмістити кілька веломобілів.

Впровадження веломобільного транспорту в структуру житлової забудови потребує створення відповідної інфраструктури. Необхідним є облаштування мережі спеціалізованих доріжок, які мають бути ізольованими від автомобільного руху та пішохідних зон. Оптимальна ширина таких доріжок становить 1,5-2,0 м. У межах житлових кварталів доцільно адаптувати другорядні вулиці під веломобільні маршрути із запровадженням обмежень на швидкість руху автомобілів. Такий підхід підвищує рівень безпеки та створює комфортне міське середовище. Не менш важливим є облаштування місць для зберігання веломобілів. Їх можна розміщувати у спеціальних контейнерах, на територіях біля будинків або в громадських зонах. Компактні розміри веломобілів дозволяють гармонійно інтегрувати такі об’єкти в існуючу забудову без значного збільшення витрат [10-16].

Впровадження веломобільної інфраструктури не потребує значних фінансових витрат. Як правило, будівництво таких об’єктів збільшує загальну вартість дорожньої мережі лише на незначний відсоток. При цьому ефект від їх використання проявляється досить швидко - зменшуються витрати на утримання доріг, покращується екологічна ситуація та підвищується загальний рівень якості життя [6, 10, 12, 14].

Таким чином, використання веломобілів у міській забудові є перспективним напрямком розвитку сучасних міст. Це знизить залежність від автомобільного транспорту, забезпечить ефективне управління транспортними потоками та раціональне використання міського простору. Крім того, покращиться екологічна ситуація, а також створиться безпечне й комфортне міське середовище. Веломобіль може зайняти важливе місце в транспортній системі, особливо в межах житлових районів.

**Список використаних джерел**

1. 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.

2. Кравцов О.В., Колесніков В.О. Сучасні стан і тенденції розвитку автомобільного транспорту // Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці і професійна освіта Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції з міжнародною участю 4 квітня 2014 року, м. Луганськ. – 77 - 79 с.

3. Ihnatieva V. Information support for territorial improvement planning. *Planning and Ensuring Sustainable Development of Socio-Economic Systems*: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference, Poznan, 18 December 2025. Poznan, 2025. P. 96–98

4. Іщенко Б., Балицький О., Колесніков В. Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі. Частина 2. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: Матеріали VIII-ої міжнар. науково-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 14–15 квіт. 2020 р. Вінниця, 2020. С. 31–45.

5. Колесніков В.О. 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.

6. Калюжний, В. Прогнозування в інноваційній діяльності: методологічні та методичні

аспекти розвитку технічних систем. Луганськ: Ноулідж, 2014. ISBN 978-617-579-980-2.

7. Савінова В. В., Стадник О. І., Колесніков В. О. Розвиток і впровадження нанотехнологій в автомобілях. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: Vта міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2017 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2017.С. 121–124.

8. Lyashuk, O., Stashkiv, M., Lytvynenko, I., Sakhno, V., Khoroshun, R. (2023). Information Technologies Use in the Study of Functional Properties of Wheeled Vehicles. In *ITTAP* (pp. 500-512).

9. Котомцев О.Ю., Девяткин Ю.С., Колесников В.А. Перспективы использования экранопланов, как нового вида транспорта // Збірник наукових праць за матеріалами студентської конференції "Промисловість, економіка, екологія та соціологія південно – східного регіону Луганської області". 19 травня 2010 р., м. Краснодон. С. 235 – 240.

10. Сташків М.Я. Підвищення транспортної безпеки на нерегульованому перехресті з кільцевим рухом / М.Я. Сташків, В.О. Дзюра, О.Б. Романюк, Т.В. Чорний // Матер. XV Міжнар. науково-практичної конф. «Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти». – Кривий Ріг, 2020. –с. 248-252.

11. Ігнатьєва, В., Карпа, Ю., Луців, М. Вдосконалення замкового механізму кришки люка оглядового колодязя як захід зменшення вуличного травматизму. Grail of Science, (29), 2023, 399-403. https://doi.org/10.36074/grail-of science.07.07.2023.068

12. Колесніков, В. О. Водневі технології. Частина 2. Вантажні водневі автомобілі. *Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту*, 12-13.

13. Ihnatieva, V. 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), 2024, 268-272. DOI: https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.268-272

14. Сидоренко Р.С., Ануфрієв В.А., Колесніков В.О. Нові технології в галузі автомобільного водневого транспорту. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 317-319. ISBN 978-966-641-950-0.

15. Ігнатьєва, В. Б., Данильченко, С. М. Ways to create a safe environment for travelling on public roads of within settlements. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 37(2), 2024, 26-29. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-26-29

16. Застосування комп'ютерного моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті / В. Балицька та ін. *учасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : Матеріали XVI Міжнар. науково-практ. конф., м. Вінниця, 23–25 жовт. 2023 р. Вінниця, 2023. С. 60-62.

***Ігнатьєва Вікторія Борисівна*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (46001, Україна, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 15, e-mail: vikto-igna@ukr.net).

***Ihnatieva Viktoriia*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics of Ternopil Ivan Puluj National Technical University (46001, Ukraine, Ternopil, Ruska Street, 56, room 15, e-mail: vikto-igna@ukr.net).

УДК 621.311.6

**Ігнатюк Р.М., Рижий О.П., Пахаренко В.Л.**

# АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З УРАХУВАННЯМ ДЕГРАДАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

*У даній роботі розглянуто питання ефективності рекуперативного гальмування для електромобілів як важливого елементу підвищення їх енергоефективності. Проаналізований впливу технічного стану акумуляторної батареї на здатність прийому енергії під час гальмування. Проаналізовано особливості роботи рекуперації в умовах міського руху, а також враховано фактори деградації акумулятора, що виникають у процесі експлуатації.*
***Ключові слова:*** *рекуперація, акумуляторна батарея, деградації акумулятора.*

*This paper addresses the issue of regenerative braking efficiency in electric vehicles as an important factor in improving their energy efficiency. The influence of the battery's technical condition on its ability to absorb energy during braking is analyzed. The features of regenerative braking operation under urban driving conditions are examined, and the effects of battery degradation occurring during operation are taken into account. Additionally, relevant studies in this field are considered.*
***Keywords:*** *regenerative braking, battery, battery degradation*

Розвиток електротранспорту в останні роки відбувається досить стрімко, що добре помітно по зростанню його частки серед загального автомобільного парку. Причини цього очевидні: підвищені вимоги до економії енергії, екологічні обмеження та бажання зменшити витрати під час експлуатації транспортних засобів. У цьому контексті важливу роль відіграє рекуперативне гальмування, яке дозволяє частково "повертати" енергію руху автомобіля назад у батарею.

Якщо порівнювати з автомобілем з двигуном внутрішнього згорання, то електромобілі мають одну суттєву перевагу — під час гальмування електродвигун може працювати як генератор. Фактично це означає, що енергія, яка зазвичай просто втрачається, перетворюється в електричну і знову використовується. Найбільш відчутний ефект від цього спостерігається у міських умовах, де автомобіль постійно розганяється і гальмує. Але на практиці все не так ідеально: частина енергії все одно втрачається, а робота системи обмежується технічними характеристиками окремих компонентів.

Окремо варто звернути увагу на акумулятор. У багатьох роботах його часто розглядають як щось стабільне і незмінне, але в реальності це зовсім не так. З часом батарея зношується: падає її ємність, збільшується внутрішній опір, з'являються обмеження по режимах заряджання. Усе це безпосередньо впливає на те, скільки енергії вона може прийняти під час рекуперації.

Для України ця проблема ще більш актуальна. Більшість електромобілів імпортовані машини із значним пробігом, відповідно, їхні батареї вже частково деградовані. Це означає, що ефективність рекуперативного гальмування в таких авто може бути значно нижчою, ніж у нових.

Отже, виникає логічна необхідність оцінювати ефективність рекуперації не нових акумуляторів, а з урахуванням його реального стану та умов експлуатації, особливо в міському циклі. Саме це і визначає актуальність даного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що рекуперативне гальмування є одним із ключових інструментів підвищення енергоефективності електромобілів. Його суть полягає в тому, що кінетична енергія транспортного засобу не втрачається повністю, а частково повертається в акумулятор. Під час цього процесу електродвигун переходить у генераторний режим. Однак ефективність такого перетворення залежить від багатьох факторів — як від параметрів

електроприводу, так і від стану батареї. За різними оцінкою автора [1], рекуперація може збільшити запас ходу приблизно на 8–25%, що особливо важливо в умовах міста.

У дослідженні присвяченому системі керування рекуперацією [2], показано вплив залежності розподілу гальмівного моменту між механічною та електричною складовою. Правильна стратегія дозволяє отримати більше рекуперативної енергії. Але навіть при оптимальному керуванні все впирається в можливості акумулятора.

Зокрема, важливу роль відіграють температурні режими та допустимі струми заряджання. Відомо, що зі збільшенням внутрішнього опору батареї ростуть втрати енергії, а також обмежується її потужність. При цьому, короткі імпульси заряджання (які якраз характерні для рекуперації) не є основним фактором старіння. Набагато більше шкодить тривале заряджання, навіть при невеликих струмах.

Також автором [3] встановлено, що деградація літій-іонних батарей супроводжується цілим комплексом змін: зменшення ємності, зростання внутрішнього опору та погіршення електрохімічних процесів. У результаті це знижує ефективність рекуперації, крім того, в реальних умовах електронні системи керування спеціально обмежують струм заряджання, щоб не пошкодити батарею, через це частина енергії просто не використовується.

Що стосується досліджень їздових циклів, то використання стандартних профілів (наприклад WLTP чи ARTEMIS) дозволяє отримати усереднені оцінки ефективності. Проте такі підходи не враховують, що батарея з часом змінює свої характеристики.

У роботах, де розглядається моделювання акумуляторів, показано, що точність результатів сильно залежить від того, наскільки правильно враховані ці зміни. Ігнорування деградації може призводити до суттєвих похибок.

Таким чином, можна зробити висновок, що рекуперативне гальмування і деградація батарей зазвичай досліджуються окремо. Комплексний підхід, який враховує взаємозв'язок цих процесів у реальних умовах експлуатації, поки що розвинений недостатньо. Саме це і обумовлює необхідність подальших досліджень у даному напрямку.

**Список використаних джерел**

1. J. Pratama, A. Miftahul, F. Sifaus, N. Ferdiansyah. Regenerative braking monitoring system of electric vehicle. Journal of Electrical, Electronic, Information, and Communication Technology. 2019. Vol. 1. P. 1-8. https://doi.org/10.20961/ jeeict.v1i1.34474
2. J. Wang, Y. Wang, M. Li. Regenerative braking control strategy for electric vehicle. In: Wang, J., Yen, G.G., Polycarpou, M.M. (eds) Advances in Neural Networks – ISNN 2012. ISNN 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7368. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31362-2_54
3. J. Vetter, P. Novák, M. Wagner et al. Ageing mechanisms in lithium-ion batteries. Journal of Power Sources. 2005. Vol. 147. P. 269–281. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.01.006

***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;

***Рижий Олександр Петрович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: o.p.ryzhyi@nuwm.edu.ua;

***Пахаренко Володимир Леопольдович*** – старший викладач 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;

***Ryzhyi Oleksandr Petrovych*** – Ph. D. (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: o.p.ryzhyi@nuwm.edu.ua;

***Pakharenko Volodymyr Leopoldovych*** – Senior Lecturer 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 330.341

**Ільченко В.Ю., Баблюк А.В.**

# МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

*Дослідження моделей управління інноваційною діяльністю дозволить транспортному підприємству не тільки гнучко комбінувати різні моделі залежно від ринкової ситуації, але й формувати власні конкурентні переваги.*
***Ключові слова:*** *інноваційна діяльність, моделі управління, транспортне підприємство.*

*Research into innovation management models will allow a transport enterprise not only to flexibly combine different models depending on the market situation, but also to form its own competitive advantages.*
***Key words:*** *innovative activity, management models, transport enterprise.*

Однією з фундаментальних характеристик транспортної галузі є її здатність трансформуватися під впливом науково-технічного прогресу. Особливо інтенсивно такі зміни відбуваються у XXI столітті, коли цифрові технології, штучний інтелект, аналітика великих даних, альтернативна енергетика та роботизація визначають напрям розвитку світової логістики. Інновації у транспортному секторі не лише змінюють технічні засоби перевезень, а й формують нову логіку руху вантажів, організації ланцюгів постачання, управління ресурсами та взаємодії між учасниками логістичного процесу.

Інновації технологічного характеру є найбільш очевидними та часто сприймаються як основа інноваційного розвитку. Це модернізація автопарку, впровадження нових моделей транспортних засобів, розвиток роботизованих сортувальних ліній, автоматизованих конвеєрів, штучних інтелектуальних систем управління рухом, впровадження безпілотних транспортних засобів, дронів для доставки, телематичних систем контролю та прогнозного технічного обслуговування. Технологічні інновації здатні докорінно змінити швидкість, точність та надійність транспортних операцій, проте їх впровадження вимагає значних капіталовкладень, високої технологічної готовності персоналу та добре розвиненої інфраструктурної бази.

Не менш важливе місце посідають організаційні інновації, які змінюють принципи управління підприємством. Вони включають впровадження гнучких моделей управління, розвиток кросфункціональних команд, удосконалення системи планування, оптимізацію логістичних маршрутів, цифровізацію документообігу та підвищення рівня автоматизації внутрішніх процесів. В умовах активного розвитку електронної комерції та зростання обсягів обробки вантажів організаційні інновації стають критично важливими, оскільки дозволяють підприємству оперативно реагувати на коливання попиту, скорочувати затримки та забезпечувати високу якість сервісу. Фактично сучасні транспортні компанії уже не можуть працювати у рамках традиційних організаційних моделей — їх діяльність потребує постійного оновлення та впровадження інтелектуальних систем управління.

Важливою передумовою ефективного інноваційного розвитку є формування адаптивної системи управління, здатної підтримувати циклічний характер інноваційного процесу та своєчасно реагувати на зміни внутрішнього й зовнішнього середовища. У транспортних компаніях цей процес реалізується через безперервний моніторинг ефективності логістичних операцій, регулярне оцінювання технічного стану транспортних засобів, аналіз ключових показників перевезень і виявлення «вузьких місць» у роботі інфраструктурних ланцюгів. Важливу роль відіграє також застосування сучасних цифрових інструментів прогнозування, планування та оп-

тимізації маршрутів, що дозволяють підвищувати точність управлінських рішень і скорочувати операційні витрати. Для повного розуміння логіки управління інноваційною діяльністю доцільно виокремити основні моделі, які найчастіше використовуються транспортними підприємствами залежно від їхнього масштабу, технічного рівня та стратегічних цілей. Характеристика моделей управління наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Моделі управління інноваційною діяльністю транспортного підприємства

| Модель | Сутність | Доцільність застосування у транспортному секторі |
|---|---|---|
| Лінійна модель інноваційного процесу (Linear Model) | Послідовне проходження етапів: ідея → розробка → впровадження → оцінка | Використовується для технічних інновацій: закупівля транспорту, модернізація обладнання, впровадження окремих IT-рішень |
| Модель відкритих інновацій (Open Innovation) | Залучення зовнішніх знань, партнерів, стартапів, університетів | Ефективна для впровадження роботизованих систем, дронів, зовнішніх IT-платформ і міжнародних логістичних технологій |
| Інтегрована модель інноваційного розвитку | Поєднання внутрішніх ресурсів і зовнішніх технологій | Дозволяє скоротити витрати на R&D та прискорити модернізацію логістичної інфраструктури |
| Модель управління інноваційними ризиками | Аналіз імовірності та впливу ризиків інноваційних проєктів | Важлива для капіталомістких рішень: автоматизація складів, закупівля нових видів транспорту, будівництво інфраструктури |
| Модель інкрементальних інновацій | Поступове покращення процесів, без різких змін | Підходить для оптимізації маршрутів, покращення графіків руху, удосконалення складських операцій |
| Радикальна (революційна) інноваційна модель | Повне оновлення технологій або процесів | Використовується при переході до цифрової логістики, впровадженні безпілотного транспорту, повної автоматизації терміналів |
| Цифрова модель інноваційного розвитку (Digital Innovation Model) | Акцент на цифровізацію, аналітику, автоматизацію, ШІ | Ключова для сучасних логістичних операторів, доставки, e-commerce-логістики |
| Екологічна інноваційна модель (Eco-Innovation) | Зменшення негативного впливу на довкілля, підвищення енергоефективності | Доцільна при переході на електротранспорт, оптимізації витрат пального, дотриманні стандартів ЄС |
| Stage-Gate Model | Поетапний цикл: ідея → оцінка → тестування → запуск, з «воротами» контролю | Ефективна для впровадження технологій, які потребують тестування: цифрові платформи, склади, трекінг-системи |
| Lean Innovation Model | Швидке тестування рішень, мінімізація витрат, MVP-підхід | Підходить для оптимізації внутрішніх процесів, запуску нових логістичних сервісів |
| Agile Innovation Model | Гнучке управління командами, короткі цикли, швидкі зміни | Використовується при розробці IT-рішень: трекінг-додатки, планувальники маршрутів, CRM та WMS системи |
| Design Thinking Model | Орієнтація на потреби користувача, емпатія, прототипування | Доцільна для покращення клієнтського сервісу, підвищення зручності доставки, розробки інтерфейсів логістичних платформ |

Управління інноваціями стає значно ефективнішим, коли підприємство здатне гнучко

комбінувати різні моделі залежно від ситуації. Так, компанія може впроваджувати інкрементальні інновації у сфері внутрішніх процесів, одночасно розвиваючи цифрову платформу за моделлю відкритих інновацій. Гнучка комбінація підходів дозволяє транспортному підприємству не тільки реагувати на зміни ринку, але й формувати власні конкурентні переваги.

Таким чином, система управління інноваційною діяльністю в транспортній галузі повинна мати системний характер, інтегруючи стратегічні цілі, технологічні можливості й ресурсний потенціал підприємства. Успіх інноваційного розвитку залежить від того, наскільки ефективно підприємство здатне поєднати різні моделі інноваційного процесу та вибудувати власну інноваційну екосистему.

**Список використаних джерел**

1. Дудар Т. Г., Мельниченко В. В. Інноваційний менеджмент у транспорті : навч. посібник. Тернопіль : Економічна думка, 2020. 280 с
2. Корман І. І., Семенда О. В., Мазур Ю. П. Вплив цифрових технологій на управління каналами розподілу та логістику в умовах глобальної економіки. *Економіка та суспільство.* 2025. Вип. 71. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-28
3. Кукушка І. В. Інноваційний розвиток транспортних підприємств України. Економіка і суспільство. 2022. Вип. 43. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-43-17
4. Новальська Н.І., Клименко В.В. Інвестиційно-інноваційна діяльність транспортно-логістичних підприємств в умовах сучасного бізнес-середовища. *Економіка та управління підприємством*. 2021. Том 32 (71). № 4. С. 64-69. DOI: https://doi.org/10.32838/2523-4803/71-4-11
5. Орлова Н. В., Соколов А. В. Інноваційні методи управління перевезеннями. *Ukrainian Journal of Applied Economics*. 2022. Вип. 9. С. 28–35.
6. Петрова І. Л., Шпильова Т. І., Сисоліна Н. П. Інноваційна діяльність у транспортній сфері : монографія. Київ : Дорадо, 2020. 412 с.
7. Скидан О. В. Інноваційні технології у транспорті та логістиці : монографія. Житомир : ЖНАЕУ, 2021. 320 с.
8. Савчук В. А., Лазепко І. М. Інноваційний менеджмент у транспортних компаніях : монографія. Київ : Дорадо, 2021. 334 с.

***Ільченко Вікторія Юліанівна*** — канд. екон. наук, доцент, доцент кафедри менеджменту Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 241, e-mail: nika-ivg@ukr.net).

***Баблюк Артем Володимирович*** — аспірант кафедри менеджменту Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 241, e-mail: babliuk.a.v@gmail.com).

***Ilchenko Viktoriia*** — Candidate of Economic Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management of the National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko Street, 1, room 241, e-mail: nika-ivg@ukr.net).

***Bablyuk Artem*** is a postgraduate student at the Department of Management of the National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko Street, 1, room 241, e-mail: babliuk.a.v@gmail.com).

УДК 629.76

**Кав'юк В.В., Кашканов А.А.**

# КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ УДОСКОНАЛЕННЯ БАГАТОМОДУЛЬНИХ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*Розглянуто концептуальні засади удосконалення багатомодульних засобів аеродромно-технічного забезпечення через поетапну модернізацію. На кожному етапі – від вдосконалення традиційної техніки до формування повноцінної багатомодульної системи – визначено як переваги, так і обмеження, пов'язані з сумісністю, логістикою та стандартизацією. Запропоновано систему оцінювання якості за критеріями надійності, ремонтопридатності, економічної ефективності та відповідності міжнародним вимогам. Перспективні напрями досліджень (оптимізація логістики, економічне моделювання, адаптація до польових умов) інтегруються у поетапний підхід, забезпечуючи поступове зниження ризиків і підвищення ефективності системи.*

***Ключові слова:*** *аеродромно-технічне забезпечення; багатомодульні системи; модернізація; обмеження; оцінювання якості; перспективи.*

*The paper presents conceptual foundations for improving multi‑module aerodrome technical support systems through phased modernization. Each stage – from upgrading traditional equipment to forming a complete multi‑module system – reveals both advantages and limitations related to compatibility, logistics, and standardization. A quality assessment system is proposed, covering reliability, maintainability, economic efficiency, and compliance with international standards. Future research directions (logistics optimization, economic modelling, adaptation to field conditions) are embedded in the phased approach, ensuring gradual risk reduction and enhanced system efficiency.*

***Key words:*** *aerodrome technical support; multi‑module systems; modernization; limitations; quality assessment; prospects.*

Багатомодульні засоби авіаційного технічного забезпечення польотів (ЗАТЗП) формують інтегровану систему підтримки авіаційної діяльності, що визначає рівень готовності та безпеки [1]. Їх модернізація є стратегічним напрямом розвитку інфраструктури, орієнтованим на мобільність, технологічну сумісність та відповідність міжнародним стандартам [2].

Традиційні методи оцінювання, засновані лише на окремих показниках, не дають повної картини. Запропонований підхід є комплексним: враховує технічні, економічні та нормативні аспекти, охоплює весь життєвий цикл, включає міжнародні стандарти (НАТО, ІСАО) та застосовує багатокритеріальне ранжування.

Ключовим принципом виступає модульність: базове шасі може оснащуватися різними функціональними модулями (енергозабезпечення, буксирування, діагностика), що зменшує кількість спеціалізованої техніки та витрати на її утримання.

Сучасні системи повинні забезпечувати швидке розгортання, захист персоналу, інтеграцію цифрових технологій та альтернативних джерел енергії. Методологія удосконалення передбачає [3, 4]:

- формування оптимальних характеристик;
- стандартизацію конструкцій та вузлів;
- використання наукових досліджень (зокрема керування маневруванням заднім ходом [5]);
- врахування логістики та умов експлуатації від мирних аеропортів до бойових зон.

Отже, удосконалення багатомодульних засобів авіаційного технічного забезпечення польотів має базуватися на системному аналізі трьох ключових аспектів:

1. Технічний – впровадження нових матеріалів, цифрових систем управління та автоматизації.

2. Організаційний – стандартизація процедур, підготовка персоналу, інтеграція техніки у загальну систему забезпечення.

3. Економічний – скорочення витрат, мінімізація простоїв, ефективне використання ресурсів.

У результаті формується сучасна концепція, що перетворює технічні засоби на цілісну систему, здатну відповідати міжнародним стандартам, забезпечувати гнучкість та економічну доцільність. Це робить багатомодульні ЗАТЗП стратегічним елементом розвитку авіаційної інфраструктури та підвищення безпеки польотів.

Розроблення нових зразків здійснюється відповідно до керівних документів і тактико-технічних завдань державного замовника, з узгодженням усіх етапів життєвого циклу – від дослідження до експлуатації. Особливий акцент робиться на технологічних особливостях використання, безпеці польотів та скороченні часу операцій.

Оцінювання варіантів створення й модернізації є системоутворюючим етапом, що визначає ефективність впровадження. Раціональний вибір ґрунтується на комплексному аналізі технічних, економічних та організаційних параметрів, які формують інтегральний показник технічного рівня (рис. 1).

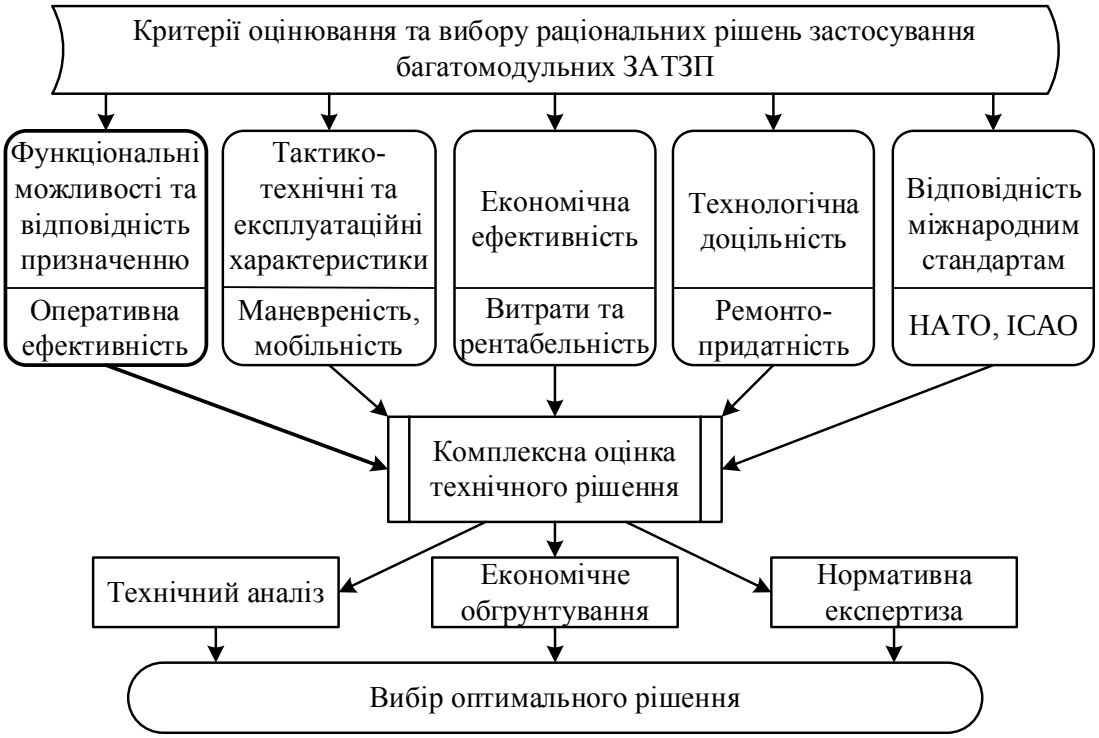



Рисунок 1 – Схема оптимізації рішень щодо використання багатомодульних ЗАТЗП

Визначення інтегрального показника $I_Z$, який враховує не лише вагові коефіцієнти та нормалізацію, а й експертну оцінку та коригувальні коефіцієнти має вигляд

$$I_Z = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{K_i - K_i^{\min}}{K_i^{\max} - K_i^{\min}} \cdot W_i \cdot C_i \cdot E_i\right), \qquad (1)$$

де $N$ – кількість критеріїв оцінювання;

$K_i$ – фактичне значення ($i$)-го критерію;

$K_i^{\min}$, $K_i^{\max}$ – мінімальне та максимальне значення критерію в межах порівнюваних варіантів (для нормалізації);

$W_i$ – ваговий коефіцієнт значущості критерію (визначається експертно [6, 7]);

$C_i$ – коригувальний коефіцієнт, що враховує специфіку застосування (наприклад, бойове чи навчальне використання);

$E_i$ – експертна оцінка достовірності даних або ступеня реалізованості критерію (у межах [0.5; 1.0]).

Формула (1) забезпечує багатокритеріальну оцінку: вона інтегрує вагові параметри, поєднує технічну й економічну доцільність, адаптується до умов застосування та придатна для автоматизованого ранжування варіантів. Таким чином, критерії оцінювання та вибору раціональних рішень забезпечують науково обґрунтований підхід до створення, модернізації та експлуатації багатомодульних ЗАТЗП. Вони дозволяють поєднати технічні, економічні та організаційні аспекти у єдину систему, що гарантує ефективність і безпеку аеродромно технічного забезпечення польотів.

Попри переваги, удосконалення багатомодульних систем має низку обмежень:

- складність узгодження модулів із різними міжнародними вимогами, ризик несумісності;
- високі вимоги до підготовки й сертифікації технічного складу;
- орієнтація на стандарти НАТО та світові технології може обмежувати локальну модернізацію;
- потреба у складному управлінні запасами, транспортуванні та швидкій заміні модулів;
- значні стартові інвестиції, ефективність проявляється лише довгостроково;
- обмеження базового шасі (вантажопідйомність, енергоресурси, габарити) знижують варіативність конфігурацій.

Модернізація багатомодульних ЗАТЗП потребує балансу між гнучкістю та практичною реалізацією, враховуючи стандарти, ресурси й експлуатаційні умови.

Удосконалення багатомодульних ЗАТЗП відкриває перспективи, але потребує вирішення низки викликів. Майбутні дослідження мають зосередитися на:

- оптимізації систем управління запасами, транспортуванням і заміною;
- створенні універсальних вимог та протоколів сумісності;
- моделюванні довгострокової ефективності та витрат;
- розширенні функціоналу базового шасі й інтеграції нових модулів;
- програмах навчання та сертифікації для роботи з багатомодульними системами;
- адаптації до умов мирних аеропортів, польових операцій і бойових дій.

Критичний аналіз обмежень і цілеспрямовані дослідження формують реалістичну дорожню карту (рис. 2) розвитку багатомодульних систем як стратегічного елементу авіаційної інфраструктури.

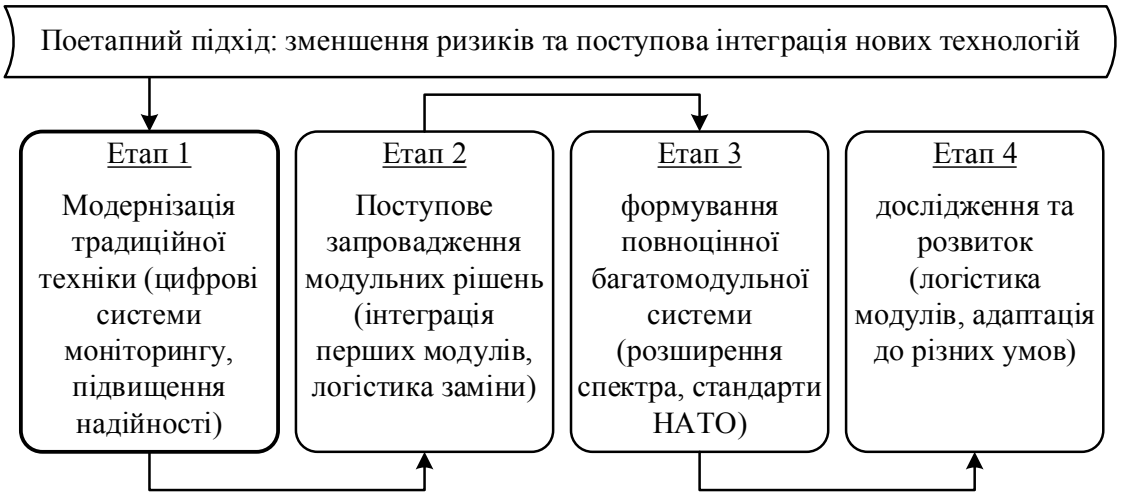



Рисунок 2 – Дорожня карта удосконалення багатомодульних ЗАТЗП

Поетапний підхід дозволяє зберегти баланс між модернізацією наявної техніки та впровадженням нових рішень, забезпечуючи стабільність, економічну доцільність та відповідність міжнародним стандартам.

**Список використаних джерел**

1. Кав'юк В., Кашканов А. Роль тактико-технічних характеристик засобів рухомості в аеродромно-технічному забезпеченні польотів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2025, 20(2), 54–62. https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.54

2. Кав'юк В.В., Кашканов А.А. Аналіз світового досвіду застосування засобів наземного забезпечення польотів. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки", 13-14 листопада 2024 року: збірник наукових праць. Вінниця : ВНТУ, 2024. С. 81-83. https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/859/1497/2790-2.

3. Кашканов А.А., Кав'юк В.В. Методи підвищення ефективності та безпеки експлуатації засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації. 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. С. 147-151. https://atmconf.vntu.edu.ua/materialy2025.pdf.

4. Kaviuk V., Kashkanov A. Conceptual principles for improving the maneuverability of modular road trains for airfield technical support of flights. Scientific Journal of Polonia University. 2025. Vol. 71, № 4. P. 304-316. https://doi.org/10.23856/7134.

5. Васильєв Б.Г., Кавюк В.В., Грунов Є.І., Вахнюк С.А., Гончаров В.С., Савчук А.Д. Пристрій керування поворотом дволанкового автопоїзда для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами: патент на корисну модель №156333, МПК V62D 13/06, 53/00 (Україна). №u202106539; заявлено 19.11.2021; опубліковано 12.06.2024, Бюлетень №24. 4 с.

6. Rotshtein A.P., Kashkanov A.A., Zelinska O.V., Katielnikov D.I. Fuzzy Scenario Analysis of Generalized Dynamic Systems. Cybernetics and Systems Analysis. 2026, 62, 76–86. https://doi.org/10.1007/s10559-026-00846-7.

7. Kashkanova A., Rotshtein A., Kashkanov A., Katelnikov D. Intelligent model for reliability control and safety in urban transport systems. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska. 2025, 15(4), 100–107. https://doi.org/10.35784/iapgos.8276.

***Кав'юк Вадим Володимирович*** – начальник кафедри аеродромно-технічного забезпечення авіації, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна, e-mail: super-kvv1971@ukr.net.

***Кашканов Андрій Альбертович*** – д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua.

***Kaviuk Vadym*** – Head of the Department of airfield technical support of aviation, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine, e-mail: super-kvv1971@ukr.net.

***Kashkanov Andrii*** – Dr.Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua.

УДК 623:621.31

**Канчуга М.К.**

# ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ТА ТАКТИКО-ТЕХНІЧНІ ПЕРЕВАГИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСМІСІЙ У ВІЙСЬКОВІЙ АВТОМОБІЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

*Розглянуто експлуатаційні та тактико-технічні переваги військової автомобільної техніки, оснащеної електричними трансмісіями. Проаналізовано перспективи застосування таких систем у сучасних умовах ведення бойових дій та визначено їх основні переваги порівняно з традиційними механічними трансмісіями. Обґрунтовано можливі напрями модернізації існуючих зразків військової автомобільної техніки шляхом встановлення або переобладнання електричних трансмісій.*

***Ключові слова:*** *військова автомобільна техніка, електрична трансмісія, експлуатація автомобіля, переобладнання автомобіля*.

*The operational and tactical advantages of military vehicles equipped with electric transmission systems are considered. The prospects of using such systems in modern warfare conditions are analyzed, and their main advantages compared to conventional mechanical transmissions are identified. Possible approaches to upgrading existing military vehicle models through the installation or retrofitting of electric transmission systems are proposed.*

***Key words:*** *military automotive equipment, electric transmission, vehicle operation, vehicle conversion.*

Сучасні умови ведення бойових дій висувають підвищені вимоги до мобільності, енергоефективності, надійності та малопомітності військової автомобільної техніки. Традиційні механічні трансмісії, що використовуються у більшості існуючих військових автомобілів, мають низку конструктивних і експлуатаційних обмежень, пов’язаних із втратами потужності в елементах трансмісії, складністю технічного обслуговування, підвищеним рівнем шуму та обмеженими можливостями інтеграції сучасних електронних і енергетичних систем. У зв’язку з цим одним із перспективних напрямів розвитку військової автомобільної техніки є впровадження електричних і гібридних трансмісій, що дозволяють підвищити ефективність використання енергії та розширити функціональні можливості транспортних засобів.

Електрична трансмісія являє собою систему передавання енергії, у якій механічна енергія двигуна перетворюється в електричну з подальшим передаванням її до тягових електродвигунів, встановлених на ведучих колесах або осях. Такий принцип роботи забезпечує більш гнучке керування тяговими характеристиками транспортного засобу, дозволяє реалізувати незалежний привід коліс, покращує динамічні властивості техніки та знижує втрати потужності у трансмісії [1]. Крім того, електричні трансмісії створюють можливість використання різних джерел енергії, включаючи гібридні силові установки, акумуляторні батареї та перспективні альтернативні енергетичні системи.

Однією з основних експлуатаційних переваг електричних трансмісій є підвищення коефіцієнта корисної дії силової установки транспортного засобу [2]. Відсутність багатоступеневих механічних передач і зменшення кількості рухомих механічних елементів дозволяють значно знизити енергетичні втрати, підвищити економічність роботи двигуна та збільшити запас ходу техніки. Важливою перевагою є також зниження потреби в складному технічному обслуговуванні, оскільки електричні трансмісії мають меншу кількість вузлів, що піддаються інтенсивному зношуванню, що позитивно впливає на надійність та довговічність транспортних засобів у складних умовах експлуатації.

В умовах сучасної війни особливого значення набуває питання зменшення акустичної та теплової помітності військової техніки. Використання електричних трансмісій дозволяє суттєво знизити рівень шуму під час руху транспортного засобу, що підвищує його прихованість

під час виконання бойових завдань [3]. Крім того, зменшення теплових втрат і більш рівномірний розподіл теплового навантаження знижують теплову помітність техніки в інфрачервоному діапазоні, що є важливим фактором у протидії сучасним засобам розвідки та ураження.

Ще однією важливою перевагою застосування електричних трансмісій є можливість забезпечення живлення бортових електронних систем підвищеної потужності без використання додаткових допоміжних агрегатів. Сучасні військові транспортні засоби оснащуються значною кількістю електронного обладнання, включаючи системи зв'язку, навігації, управління, радіоелектронної боротьби, безпілотні комплекси та інші енергомісткі системи. Електрична трансмісія дозволяє використовувати тягові електродвигуни та акумуляторні батареї як джерело живлення для таких систем, що підвищує автономність і функціональні можливості транспортних засобів.

Застосування електричних трансмісій також відкриває нові можливості для створення перспективних автономних і дистанційно керованих наземних платформ, які набувають широкого використання у сучасних збройних конфліктах. Практичні приклади впровадження електричних і гібридних трансмісій вже демонструються у провідних арміях світу. Зокрема, у Збройних силах США реалізуються програми створення перспективних бойових і транспортних платформ із гібридними силовими установками, серед яких модернізовані варіанти бойових машин піхоти Bradley з електричними приводами, а також експериментальні транспортні платформи Oshkosh eJLTV, що оснащуються гібридною електричною трансмісією. Використання таких систем дозволяє забезпечити режим малошумного руху, підвищити енергоефективність та забезпечити живлення додаткових бортових систем підвищеної потужності [5]. Електричний привід забезпечує точніше керування швидкістю та маневреністю техніки, спрощує інтеграцію систем автоматизованого управління та створює передумови для подальшого розвитку роботизованих транспортних засобів військового призначення.

Перспективним напрямом розвитку військової автомобільної техніки є також модернізація існуючих зразків шляхом впровадження елементів електричних або гібридних трансмісій. Використання модульних рішень, що передбачають встановлення електродвигунів у ведучі осі або колеса, дозволяє проводити часткове переобладнання транспортних засобів без суттєвих змін їх базової конструкції. Такий підхід дає можливість поступового переходу до нових технологій із мінімальними фінансовими та виробничими витратами, а також дозволяє підвищити тактико-технічні характеристики наявного парку військової техніки [4].

Отже, застосування електричних трансмісій у військовій автомобільній техніці забезпечує низку експлуатаційних і тактико-технічних переваг, серед яких підвищення енергоефективності, зниження акустичної та теплової помітності, збільшення функціональних можливостей транспортних засобів, підвищення надійності та розширення можливостей модернізації існуючих зразків техніки. Подальші дослідження у цьому напрямі доцільно спрямувати на оптимізацію конструкцій електричних трансмісій для умов військової експлуатації, розроблення ефективних гібридних силових установок, а також створення технологічних рішень для масового впровадження електричних приводів у військову автомобільну техніку.

**Список використаних джерел**

1. Ehsani M., Gao Y., Longo S., Ebrahimi K. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. CRC Press, 2018.

2. Chan C. C. The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. Proceedings of the IEEE. 2020.

3. Navarro J., Ochoa J. Electric propulsion systems for military ground vehicles: Advantages and challenges. Journal of Defense Technology. 2021.

4. Army Research Laboratory. Hybrid and Electric Drive Military Vehicle Demonstration Program. Technical Report, 2022.

5. Oshkosh Defense. eJLTV Hybrid Electric Vehicle Program. URL: https://oshkoshdefense.com

***Канчуга Мар'ян Казимирович*** — старший викладач кафедри іноземних мов Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного (79026, м. Львів, вул. Героїв Майдану, 32, e-mail: mkanchuga4@gmail.com).

***Kanchuha Marian*** – senior lecturer of the department of foreign languages of Hetman Petro Sahaidachnyi The National Army Academy (79026, Lviv, Heroiv Maidanu Street, 32, e-mail: mkanchuga4@gmail.com).

УДК 656.13:656.21

**Кашканов В.А., Гриб С.С.**

# ВПЛИВ ТАРИФНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРКУВАННЯ НА ПАРАМЕТРИ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ МІСТА

*Розглянуто проблему перевантаження вулично-дорожньої мережі міст України в умовах зростання рівня автомобілізації та обмеженості паркувальної інфраструктури. Обґрунтовано, що одним з чинників формування заторів є «кружляння» транспортних засобів у пошуку паркомісць, яке створює додаткове транспортне навантаження на вулично-дорожню мережу міста. Запровадження диференційованого тарифного регулювання дозволяє оптимізувати використання паркувального простору, зменшити інтенсивність пошукового трафіку та підвищити ефективність функціонування міської транспортної системи.*

***Ключові слова:*** *паркування, паркомісце, транспортний потік, попит на паркування, тариф на паркування.*

*The problem of overloading the street and road network of Ukrainian cities in the conditions of increasing motorization and limited parking infrastructure is considered. It is substantiated that one of the factors of traffic jam formation is the "circling" of vehicles in search of parking spaces, which creates additional transport load on the street and road network of the city. The introduction of differentiated tariff regulation allows optimizing the use of parking space, reducing the intensity of search traffic and increasing the efficiency of the functioning of the urban transport system.*

***Key words:*** *parking, parking space, traffic flow, parking demand, parking tariff.*

Сучасний етап розвитку міст України характеризується стійким зростанням рівня автомобілізації, що супроводжується збільшенням інтенсивності транспортних потоків та підвищенням навантаження на вулично-дорожню мережу (ВДМ) [1, 6]. При цьому розвиток транспортної інфраструктури, зокрема пропускної здатності вуличної мережі та кількості паркувальних місць, значною мірою відстає від темпів зростання кількості транспортних засобів [2]. Це призводить до системних дисбалансів у функціонуванні міської транспортної системи, які проявляються у зниженні швидкості руху, збільшенні тривалості поїздок та погіршенні екологічної ситуації тощо [3, 6].

Транспортні затори є одним із найбільш критичних проявів неефективного функціонування міських транспортних систем, що виникають у разі перевищення інтенсивності транспортних потоків над пропускною здатністю вулично-дорожньої мережі. У сучасних умовах значна частка перевантаження ВДМ пов’язана не лише з транзитним рухом, але й із процесами пошуку місць для паркування, нерегульованим попитом на паркомісця та низькою оборотністю паркувального простору. Тобто, неефективне використання паркувального простору, особливо в центральних районах міст, де попит на паркування значно перевищує пропозицію, є однією з ключових причин перевантаження ВДМ. В умовах відсутності економічно обґрунтованого тарифного регулювання спостерігається надмірна концентрація транспортних засобів у зонах з високою функціональною привабливістю, що призводить до нерівномірного розподілу транспортних потоків у міському просторі.

Важливим фактором, який додатково ускладнює транспортну ситуацію, є так зване «кружляння» транспортних засобів у пошуку вільного паркомісця [4, 5]. За результатами досліджень, частка таких переміщень у центральних зонах може становити до 20–30 % від загального обсягу транспортного потоку, що суттєво знижує пропускну здатність вулично-дорожньої мережі, сприяє виникненню заторів та підвищує рівень викидів шкідливих речовин.

У результаті емпіричних досліджень встановлено [4, 5], що середній час пошуку паркомісця становить 1-2 хв, однак у зонах високого попиту воно збільшується до 5 хв. Незва-

жаючи на відносно малу тривалість, це формує додаткове транспортне навантаження, сукупний ефект якого у масштабі міста можна оцінити як:

$$Q_{\text{сумпошук}} = N \cdot T_{\text{српошук}}, \quad (1)$$

де $N$ – кількість поїздок, що завершуються пошуком паркування.

Поведінковий підхід базується на мінімізації узагальнених витрат поїздки. Функція витрат має вигляд [4]:

$$C = \alpha T_{\text{српошук}} + \beta P + \gamma T_{\text{піш}}, \quad (2)$$

де $P$ – вартість паркування;

$T_{\text{піш}}$ – час пішого доступу;

$\alpha, \beta, \gamma$ – вагові коефіцієнти.

Умова вибору стратегії «кружляння»:

$$\alpha T_{\text{српошук}} < \Delta P, \quad (3)$$

де $\Delta P$ – різниця між вартістю вуличного та позавуличного паркування.

Таким чином, при низькій ціні вуличного паркування або її відсутності формується надлишковий попит і штучний дефіцит. Теоретичне моделювання попиту можна сформувати на підходах теорії масового обслуговування.

Наприклад, коефіцієнт завантаженості системи паркування можна представити як:

$$\rho = \frac{\lambda}{N\mu}, \quad (4)$$

де $\lambda$ – інтенсивність прибуття автомобілів;

$\mu$ – інтенсивність обслуговування (звільнення місць) в системі паркування;

$N$ – кількість паркомісць.

Критичний режим в системі паркування настає при $\rho \to 1$. Емпірично встановлено порогове значення $\rho_{\text{крит}} \approx 0{,}85$ [2]. Графічно залежність часу пошуку від заповненості має нелінійний характер: при $\rho < 0{,}8$ – повільне зростання, а при $\rho > 0{,}85$ – експоненційне зростання. Ця залежність може бути представлена у вигляді кривої, що різко зростає поблизу $\rho = 1$ (див. рис. 1).

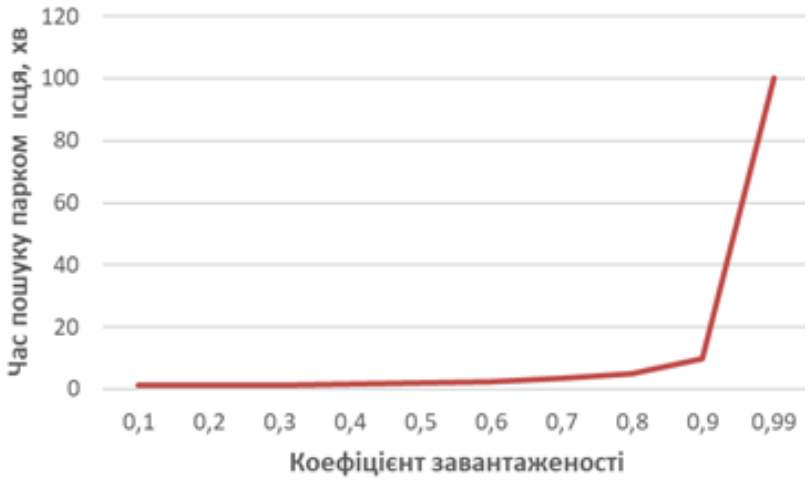



Рисунок 1 – Залежність часу пошуку паркомісць від заповненості системи паркування

Отже, тарифне регулювання паркування можна розглядати як один з ефективних інструментів управління транспортними потоками, який дозволяє впливати на транспортну поведінку користувачів шляхом економічного стимулювання. Застосування диференційованих тарифів залежно від зони міста, часу доби та тривалості паркування створить передумови для більш раціонального використання паркувального простору, зменшення надлишкового попиту на паркомісця та оптимізації розподілу транспортних потоків.

Застосування диференційованих тарифів дозволить підтримувати оптимальний рівень завантаженості паркомісць на рівні 80-85 %, що забезпечуватиме наявність вільних місць у

системі паркування і мінімізуватиме час їх пошуку. У таких умовах зникає необхідність додаткових переміщень транспортних засобів у межах однієї зони, що безпосередньо знижує інтенсивність руху та ймовірність утворення заторів.

Крім того, тарифне регулювання сприятиме перерозподілу транспортних потоків у просторі та часі. Підвищення вартості паркування у центральних зонах та у пікові періоди стимулює користувачів:

– змінювати час здійснення поїздок;
– обирати альтернативні маршрути;
– використовувати периферійні паркувальні майданчики;
– переходити на громадський транспорт.

Це дозволить зменшити пікові навантаження на вулично-дорожню мережу та більш рівномірно розподілити транспортні потоки протягом доби.

**Список використаних джерел**

1. 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.

2. Кашканов В.А., Цимбал С.С., Варчук В. В. Методологічні підходи до формування тарифної політики у сфері міського паркування. *Вісник машинобудування та транспорту.* 2026. №1 (23), С. 50-57. DOI: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2026-23-1-50-57

3. Швець В.В., Кашканов В.А., Адамчук О.М. Психоемоційний вплив кольорової гамми вулиці на водія. *Матеріали ІІІ-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, 14-16 квітня 2015 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 125-128. Режим доступу http://atmconf.vntu.edu.ua/materialy2015.pdf

4. Gu Ziyuan, S. Farshid, S. Meead, Rashidi Taha H. A macro-micro approach to modeling parking. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 147, May 2021, P. 220-244. https://doi.org/10.1016/j.trb.2021.03.012

5. D. Jordon, R. Hampshire, T. Fabusuyi. Estimating on-street parking occupancy using smart meter data. *arXiv*:2106.02270. *Engineering, Environmental Science, Computer Science*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.02270

6. Кашканов В. А., Осьмірко С. О. Дослідження руху транспортного потоку на вулично-дорожній мережі міста. *Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року : збірник наукових праць*. Вінниця : ВНТУ, 2022. URL: https://press.vntu.edu.ua/ index.php/vntu/catalog/view/683/1213/2431-1

***Кашканов Віталій Альбертович*** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: v.kashkanov@vntu.edu.ua

***Гриб Світлана Сергіївна*** – студентка факультету машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: svitlanahryb147@gmail.com

***Kashkanov Vitalii*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Automobile and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: v.kashkanov@vntu.edu.ua

***Hryb Svitlana*** – student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, e-mail: svitlanahryb147@gmail.com

УДК 378.147

**Кашканова Г.Г.**

# КОМПЕТЕНТНІСНО-ОРІЄНТОВАНЕ ОЦІНЮВАННЯ У ТЕХНІЧНИХ ЗВО: ПРОЗОРІСТЬ, САМООЦІНКА ТА РЕФЛЕКСІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТИ РОЗВИТКУ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

*У доповіді розглядається компетентнісно-орієнтоване оцінювання у технічних закладах вищої освіти автомобільного транспорту. Акцент зроблено на прозорих критеріях, що забезпечують довіру та мотивацію студентів. Показано роль самооцінки як інструменту формування відповідальності й критичного мислення. Окреслено значення рефлексії для розвитку професійної ідентичності майбутніх інженерів*

***Ключові слова:*** *компетентнісно-орієнтоване оцінювання, прозорі критерії, самооцінка студентів, рефлексія, технічні заклади вищої освіти, автомобільний транспорт, курс вищої математики, професійна підготовка інженерів.*

*The paper explores competency-based assessment in technical higher education institutions specializing in automotive transport. Emphasis is placed on transparent evaluation criteria that enhance student motivation and trust. The role of self-assessment is highlighted as a tool for developing responsibility and critical thinking. Reflection is presented as a pedagogical instrument that fosters professional identity and self-realization of future engineers.*

***Key words:*** *competency-based assessment; transparent criteria; student self-assessment; reflection; technical higher education; automotive transport; higher mathematics; professional training of engineers*

Сучасний розвиток автомобільного транспорту вимагає від майбутніх інженерів не лише ґрунтовних теоретичних знань, а й здатності застосовувати їх у практичних умовах. Технічні заклади вищої освіти мають забезпечити підготовку фахівців, які володіють комплексом компетентностей: умінням аналізувати, моделювати та оптимізувати транспортні процеси, приймати обґрунтовані рішення та працювати в умовах швидких технологічних змін.

Компетентнісний підхід орієнтує освітній процес на формування цілісної системи знань, умінь і навичок, що безпосередньо пов’язані з майбутньою професійною діяльністю. Для інженерів автомобільного транспорту це означає здатність використовувати математичні методи для вирішення прикладних задач: розрахунку навантажень, оптимізації маршрутів, моделювання руху та прогнозування ефективності транспортних систем. Такий підхід сприяє розвитку критичного мислення, відповідальності та інноваційності студентів, що є ключовими якостями сучасного фахівця.

Традиційні методи оцінювання, які зосереджуються переважно на перевірці правильності розрахунків та відтворенні теоретичного матеріалу, часто не відображають реальний рівень готовності студента до професійної діяльності. Вони не враховують здатності застосовувати знання у практичних умовах, не стимулюють самооцінку та рефлексію. Як наслідок, студенти можуть демонструвати високі результати у тестах, але не бути готовими до вирішення комплексних транспортних задач. Це створює розрив між академічними досягненнями та вимогами ринку праці.

Прозорість у системі оцінювання є ключовим чинником формування довіри між студентом та викладачем. Чітко визначені і зрозумілі критерії дають можливість студентам планувати власну діяльність, прогнозувати результати та усвідомлювати, які компетентності необхідно продемонструвати. Вони мають бути сформульовані ясно, відповідати професійним компетентностям і відображати не лише рівень знань, а й уміння застосовувати їх у практичних умовах.

Важливо забезпечити доступність таких критеріїв у вигляді рубрик, чек-листів чи таблиць, які студенти отримують ще до початку виконання завдання. Саме рубрики дозволяють чітко структурувати очікувані результати та рівні досягнень, роблячи процес оцінювання зрозумілим і передбачуваним. У таблиці нижче наведено приклад рубрик компетентнісного оцінювання у курсі вищої математики для студентів автомобільного транспорту.

Таблиця 1 – Рубрики компетентнісного оцінювання у курсі вищої математики

| Критерій | Базовий рівень | Достатній рівень | Високий рівень | Відмінний рівень |
|---|---|---|---|---|
| Знання та розуміння | Відтворює окремі формули без пояснень | Знає основні поняття, допускає помилки | Демонструє цілісне розуміння, пояснює алгоритми | Вільно оперує теорією, узагальнює та застосовує у нових ситуаціях |
| Застосування знань | Виконує прості розрахунки | Розв'язує стандартні задачі | Використовує методи для прикладних транспортних задач | Створює моделі, оптимізує процеси, пропонує інноваційні рішення |
| Аргументація та комунікація | Оформлення неповне, аргументація слабка | Оформлення зрозуміле, аргументація часткова | Логічне пояснення вибору методів | Чітка аргументація, здатність презентувати результати професійно |
| Самооцінка та рефлексія | Не усвідомлює власних помилок | Визнає окремі недоліки | Аналізує сильні та слабкі сторони | Формує глибокі висновки, пропонує шляхи вдосконалення |

Запропоновані рубрики компетентнісного оцінювання не лише визначають чіткі критерії та рівні досягнень, а й створюють основу для усвідомленого самоконтролю студентів. Вони допомагають майбутнім інженерам співвідносити власні результати з професійними вимогами, бачити напрями розвитку та критично оцінювати власний прогрес.

Саме тому наступним ключовим елементом компетентнісного підходу виступає самооцінка, яка перетворює оцінювання з формальної процедури на інструмент особистісного й професійного зростання. Вона допомагає студентам не лише співвідносити власні результати з визначеними критеріями, а й усвідомлювати сильні та слабкі сторони, формувати навички критичного мислення та відповідальності за прийняті рішення.

Прикладом може бути завдання з оптимізації маршруту автомобільного транспорту. Студент не обмежується розрахунком оптимального шляху, а додатково аналізує ефективність обраного методу, оцінює можливість використання альтернативних алгоритмів, визначає їх переваги та недоліки. Такий підхід формує здатність бачити проблему комплексно, порівнювати різні варіанти рішень і робити висновки, які можна застосувати у майбутніх проєктах.

Самооцінка у цьому контексті стає інструментом саморозвитку: вона дозволяє студентам відстежувати власний прогрес, визначати напрями вдосконалення та готуватися до реальних викликів професійної діяльності. Крім того, інтеграція самооцінки у навчальний процес сприяє розвитку навичок самокорекції, підвищує мотивацію та формує готовність до роботи в умовах швидких технологічних змін.

У свою чергу, рефлексія доповнює самооцінку, допомагаючи студентам осмислити власний досвід навчання та пов'язати його з майбутньою професійною діяльністю. Вона охоплює не лише аналіз результатів, а й усвідомлення процесу мислення, прийнятих рішень та їх наслідків. Для майбутніх інженерів рефлексія стає засобом критичного оцінювання ефективності застосованих математичних методів у реальних транспортних задачах, формуючи здатність до самокорекції та професійного розвитку.

Рефлексія у навчальному процесі може проявлятися у різних формах, кожна з яких відкриває нові можливості для розвитку студентів. Індивідуальна допомагає самостійно усвідомити власні досягнення й труднощі, тоді як групова формує командний дух і навички співпраці. Письмова рефлексія дозволяє систематизувати досвід у щоденниках чи звітах, а усна — через дискусії та презентації стимулює відкритий діалог і впевненість у власних рішеннях. У поєднанні ці форми стають потужним інструментом самовдосконалення, що готує майбутніх інженерів до реальних викликів професійної діяльності.

У цьому процесі викладач виступає фасилітатором, створюючи умови для відкритого діалогу та спрямовуючи студентів на глибший аналіз власних дій. Його роль полягає не у контролі, а у підтримці: допомогти побачити зв'язок між навчальними завданнями та професійними компетентностями, сформувати здатність до самокорекції й розвитку.

Рефлексія, інтегрована у навчальний процес, перетворює оцінювання на інструмент самовдосконалення. Вона сприяє формуванню професійної ідентичності, розвитку критичного мислення та підготовці студентів до реальних викликів у сфері автомобільного транспорту.

Практична реалізація компетентнісного оцінювання у курсі вищої математики здійснюється через інтеграцію навчальних завдань із професійним контекстом, що дозволяє студентам поєднувати теоретичні знання з реальними інженерними викликами. Зокрема, вони розв'язують прикладні задачі, де застосовують матричні методи, методи диференціального та інтегрального числення, диференціальні рівняння та статистичний аналіз. Такі завдання мають практичну спрямованість: наприклад, розробка моделі руху автомобільного потоку з урахуванням дорожніх умов і обмежень дає змогу перевірити не лише рівень засвоєних знань, а й здатність до їх творчого й ефективного використання у професійних ситуаціях.

Крім того, такі завдання можуть включати аналіз альтернативних рішень, оцінку ефективності різних алгоритмів та формування рекомендацій для оптимізації транспортних процесів. Це стимулює розвиток критичного мислення, навичок аргументації та здатності приймати обґрунтовані рішення. Важливим аспектом є також командна робота: студенти співпрацюють у групах, розподіляють ролі, презентують результати та обговорюють можливі шляхи вдосконалення моделей.

Важливу роль відіграють сучасні цифрові інструменти — системи управління навчанням (LMS), електронні портфоліо та програмне забезпечення для математичного моделювання. Вони забезпечують прозорий збір результатів, дають студентам можливість аналізувати власний прогрес, а викладачам — здійснювати об'єктивний моніторинг компетентностей. Такий підхід сприяє розвитку навичок самооцінки, рефлексії та командної взаємодії, що є ключовими складовими професійної підготовки інженерів автомобільного транспорту.

Очевидні переваги компетентнісного оцінювання полягають у прозорості навчального процесу, підвищенні мотивації студентів, розвитку критичного мислення та формуванні відповідальності. Для викладачів воно створює можливість об'єктивно оцінювати рівень сформованих компетентностей і отримувати якісний зворотний зв'язок.

Таким чином, компетентнісне оцінювання виходить за межі традиційної перевірки знань і перетворює навчальний процес на комплексний інструмент формування критично мислячих, відповідальних і конкурентоспроможних фахівців, здатних успішно діяти в умовах сучасних професійних викликів.

**Список використаних джерел**

1. Ничкало Н. Г. Трансформація професійно-технічної освіти України: монографія. Київ, Педагогічна думка, 2008. 200 с. https://core.ac.uk/download/pdf/159616071.pdf

2. Сучасні технології в освіті. Ч. 1. Сучасні технології навчання: наук.-допом. бібліогр. покажч. Вип. 2 / НАПН України, ДНПБ України ім. В. О. Сухомлинського; [упоряд.: Філімонова Т. В., Тарнавська С. В., Орищенко І. О. та ін.; наук. консультант Антонова О. Є.; наук. ред. Березівська Л. Д.]. Київ, 2015. 377 с. https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/11087/1/Suchasyi_technologii_navchania_Ch_1_N_2.pdf

3. Кашканова Г. Г., Кашканов А. А. Ігрові форми навчання загальнотехнічним дисциплінам як засіб формування професійної спрямованості студентів: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2012. 124 с. https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/download/232/427/468-1?inline=1

4. Коломієць А., Кашканова Г., Ковальчук М., Прозор О. Роль системного та синергетичного підходів у фундаменталізації математичної підготовки майбутніх технічних фахівців. Педагогіка безпеки. 2025, 10(1), 41-48. https://doi.org/10.31649/2524-1079-2025-10-1-041-048.

5. Анпілогов Д. Прикладна спрямованість навчання вищої математики в технічному університеті. Modern Engineering and Innovative Technologies. 2024, 3(34-03), 53–59. https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-34-00-024

6. Кашканова Г., Кашканов В. Формування професійних компетентностей студентів технічних спеціальностей засобами прикладних задач з вищої математики. Педагогічна освіта:теорія і практика. 2025, 39, 62-75. https://doi.org/10.32626/2309-9763.2025-39

7. Кашканова Г.Г. Формування і розвиток фахових компетентностей студентів технічного ЗВО при вивченні фундаментальних наук з використанням інноваційних методів навчання. Матеріали науково-педагогічного підвищення кваліфікації «Інноваційна педагогіка XXI століття: нові компетентності викладача закладу вищої освіти»: Збірник тез. Вінниця: ВДПУ, 2024. С. 41-44. https://dspace.vspu.edu.ua/items/b6abe55f-ac86-491e-ac04-9a8cfd1b959f.

***Кашканова Галина Григорівна*** – канд. пед. наук, доцент, доцент кафедри вищої математики, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, e-mail: g.kashkanova@vntu.edu.ua

***Halyna H. Kashkanova*** – PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Khmelnytskyi Highway, 95, e-mail: g.kashkanova@vntu.edu.ua

УДК 621. 787.4

**Кирик С.С.**

# ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОНІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

*У роботі проаналізовано важливість конічних поверхонь в автомеханіці та специфіку нанесення на них регулярних мікрорельєфів. Встановлено, що зміна діаметра заготовки при сталих режимах обробки призводить до неоднорідності мікрогеометрії, що погіршує якість деталі. Обґрунтовано доцільність синхронізації частоти обертання або подачі інструменту зі зміною діаметра для забезпечення стабільних експлуатаційних властивостей.*
***Ключові слова:*** *частково регулярні мікрорельєфи, конічна поверхня, параметри якості*

*The paper analyzes the importance of conical surfaces in automotive engineering and the specifics of applying regular micro-reliefs to them. It was established that a changing workpiece diameter under constant machining conditions leads to non-uniform microgeometry, which degrades part quality. The necessity of synchronizing rotational speed or tool feed with the diameter change is substantiated to ensure stable operational properties.*
***Keywords****: partially regular microreliefs, conical surface, quality parameters*

Конічні поверхні належать до базових конструктивних форм у машинобудуванні, оскільки забезпечують самовстановлення, точне центрування, рівномірний розподіл контактних напружень і можливість регульованого тертя або герметизації. Завдяки поступовій зміні діаметра вздовж осі конуса створюються сприятливі умови для передачі навантаження без різких концентраторів напружень, що особливо важливо для вузлів, які працюють під циклічними або ударними навантаженнями. У багатьох випадках саме конічна геометрія дозволяє поєднати функції базування, фіксації та передачі крутного моменту, тому такі поверхні широко застосовуються як робочі або спряжені контактні елементи в механізмах автомобілів. У автомобілебудуванні конічні поверхні використовуються в низці відповідальних вузлів та агрегатів

Одним із найпоширеніших прикладів є конічні роликові підшипники, у яких доріжки кочення та ролики мають форму усічених конусів. Така геометрія забезпечує одночасне сприйняття радіальних і осьових навантажень, що критично для маточин коліс, диференціалів, коробок передач і ступичних вузлів вантажних автомобілів. Лінійний контакт між роликом і доріжкою підвищує вантажопідйомність та довговічність порівняно з кульковими підшипниками. У синхронізаторах механічних коробок передач застосовують конічні фрикційні поверхні, які забезпечують швидке вирівнювання кутових швидкостей валів за рахунок зростаючої площі контакту та самопідсилення тертя. Конус створює ефект самогальмування, завдяки чому досягається плавність перемикання передач. Подібний принцип використовують і в конічних фрикційних муфтах та гальмах, де важлива компактність і значний передаваний момент. Конічні посадочні поверхні широко застосовують у рознімних з’єднаннях вал–маточина, а також у кульових опорах і наконечниках рульових тяг. Конус забезпечує точне самоустановлення деталей та надійну фіксацію без люфтів під дією осьового затягування. У клапанних механізмах двигунів внутрішнього згоряння сідла клапанів виконують із конічною робочою поверхнею, що забезпечує герметичне перекриття потоку газів при мінімальній ширині контакту.

Таким чином, конічні робочі поверхні виконують у машинах функції навантаження, тертя, центрування та герметизації. В автомобільних вузлах їх використання підвищує несучу здатність, точність складання, зменшує знос і покращує кінематичну та енергетичну ефективність механізмів, що робить конічну геометрію однією з найбільш універсальних і технологічно доцільних форм контактних поверхонь.

Для забезпечення робочим поверхнях деталей машин певних експлуатаційних властивостей на них формують регулярні мікрорельєфи. Для цього ця поверхня повинна бути певним чином підготовлена: повинні бути забезпечені параметри якості, точність поверхні та її мікрогеометрія, формуються на попередніх технологічних операціях технологічного процесу.

Обробка конічних поверхонь є однією з найскладніших операцій токарної обробки з точки зору забезпечення стабільності процесу різання. Головна особливість полягає у безперервній зміні діаметра заготовки вздовж траєкторії руху інструменту. Це призводить до зміни кінематичних та динамічних параметрів системи "Верстат — Пристрій — Інструмент — Деталь" (ВПІД).

Якщо частота обертання шпинделя n залишається постійною $n$ = const, то при русі різця від більшого діаметра до меншого: швидкість різання лінійно зменшується; співвідношення швидкостей на початку і в кінці проходу дорівнює співвідношенню діаметрів. Якщо не регуляювати частоту обертання конічної поверхні то це призведе до утворення нерівномірної мікрогеометрії обробленої поверхні.

Зміна колової швидкості при сталих кінематичних параметрах інструменту (подача, частота осциляції) викликає дестабілізацію процесу як при різанні, так і при пластичному деформуванні в процесі формування регулярного мікрорельєфу.

При нанесенні віброрельєфу важливим параметром є геометричні параметри канавок, параметри їх взаємного розміщення, що визначають щільність розташування канавок. Ці параметри залежать від співвідношення колової швидкості деталі та швидкості осциляції інструменту.

За умови, що частота обертання шпинделя *n=const*, то зі зменшенням діаметра конуса колова швидкість зменшується. При цьому швидкість осциляції інструменту залишається сталою. Як наслідок змінюється крок рельєфу вздовж твірної конуса. На великому діаметрі елементи мікрорельєфу будуть розтягнутими (велике значення осьового кроку), а на малому діаметрі – стиснутими. Як наслідок це створить умови для формування неоднорідності властивостей поверхні (мастилоємності, зносостійкості) вздовж конічної деталі. Для забезпечення стабільних властивостей поверхні необхідно синхронізувати частоту обертання заготовки зі зміною її діаметра. Це можна забезпечити наступним чином: із зменшенням діаметра і, відповідно, колової швидкості можна пропорційно зменшувати подачу інструменту, що зменшить силу різання та шорсткість поверхні, компенсуючи погіршення умов різання.

**Список використаних джерел**

1. Kryvyi P., Maruschak P., Panin S., Lyashuk O., Vlasov, I..Influence of curvature and cross-sectional shape of cylindrical surface formed by turning on its roughness. Arabian Journal for Science and Engineering. - 2020/04/10. 2191-4281. https://doi.org/10.1007/s13369-020-04512-8.

2. Дзюра В.О., Кривий П.Д., Тимошенко Н.М.Вплив кривини циліндричної поверхні сформованої точінням або розточуванням на її шорсткість. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2016) : матеріали тез доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції (26–29 квітня 2016 р., м. Чернігів). – Чернігів: ЧНТУ, 2016. С. 80-82.

***Кирик Сергій Сергійович*** – аспірант кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (46000, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, e-mail: kyryk_sergii@ukr.net ).

***Sergii Kykyk*** – postgraduate student of the Department of Automobiles, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 46000, Ruska st., 56.

УДК 629.3.027.4

**Клімов Е.С., Солтус А.П.**

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІЗКА ТРИОСЬОВОГО АВТОМОБІЛЯ НА КІНЕМАТИКУ КЕРОВАНИХ КОЛІС

*Рух триосьових автомобілів з візком по криволінійній траєкторії спричиняє додаткові сили, які діють на керовані колеса та колеса візка. Оскільки дія таких сил призводить до зміни кутів повороту керованих коліс, що спричинює збільшення мінімального радіуса повороту триосьового автомобіля порівняно з двоосьовим, тому дослідження впливу візка на кінематику керованих коліс є актуальною задачею.*

*Представлено результати досліджень кутів повороту керованих коліс триосьового автомобіля під час руху по криволінійній траєкторії з урахуванням пружності кермової трапеції та напрямку повороту.*

***Ключові слова:*** *триосьовий автомобіль, візок, мінімальний радіус повороту, кути повороту коліс, кермова трапеція, пружність*

*The movement of three-axle vehicles with a bogie along a curved trajectory causes additional forces that act on the steered wheels and the bogie wheels. Since the action of such forces leads to a change in the steering angles, which causes an increase in the minimum turning radius of a three-axle vehicle compared to a two-axle one, the study of the influence of the bogie on the kinematics of the steered wheels is a relevant task.*

*The results of the study of the steering angles of the three-axle vehicle steered wheels during movement along a curved trajectory are presented, taking into account the elastic parameters of the steering trapezoid and the direction of turning.*

***Key words:*** *three-axle vehicle, bogie, minimum turning radius, wheel steering angles, steering trapezoid, elasticity*

Під час руху триосьового автомобіля з візком по криволінійній траєкторії виникає момент відносно центра візка, зумовлений рухом коліс візка з відведенням [1-4]. Величина цього моменту залежить від коефіцієнта опору бічному відведенню коліс візка, його бази та радіусів кривизни траєкторії руху центрів бортів коліс візка. Він спричиняє бічні та поздовжні сили, які, діючи на керовані колеса, призводять до зміни кутів їх повороту. Ця зміна кутів повороту залежить як від величини сил, що діють на керовані колеса, так і від пружності кермової трапеції, напрямку повороту та призводить до збільшення мінімального радіуса повороту автомобіля [2-4].

Ураховуючи наведене, проведемо дослідження зміни кутів повороту керованих коліс з урахуванням пружності кермової трапеції та напрямку їх повороту для повнопривідного триосьового автомобіля під час повороту ліворуч при лівосторонньому розміщенні кермового колеса. Для цього скористаємось схемою, наведеною на рис. 1.

Із аналізу рис. 1 видно, що до рами над керованим мостом, точки О, перпендикулярно поздовжній осі рами прикладена сила $P_в$, спричинена рухом коліс візка по криволінійній траєкторії, яку визначимо за виразом [4]:

$$P_в = \frac{57{,}3 k_в l_в^2}{2L}\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R+K_в}\right) \quad (1)$$

де $k_в$ – коефіцієнт опору бічному відведенню коліс візка, Н/ град; $l_в$ – база візка, м; $L$ – база автомобіля, м; $R$ – радіус траєкторії руху центра внутрішнього борта коліс візка, м; $K_в$ – колія коліс візка, м.

Ліве, внутрішнє до центра повороту, кероване колесо повернуто безпосередньо силовим циліндром на максимальний кут $\theta_в$, обмежений упором диска колеса в розташований на балці

моста обмежувач. Таке положення диска лівого колеса не змінюється під час руху. Кут повороту правого $\theta_з$, зовнішнього до центра повороту, колеса формується кінематикою та пружністю кермової трапеції та впливом візка

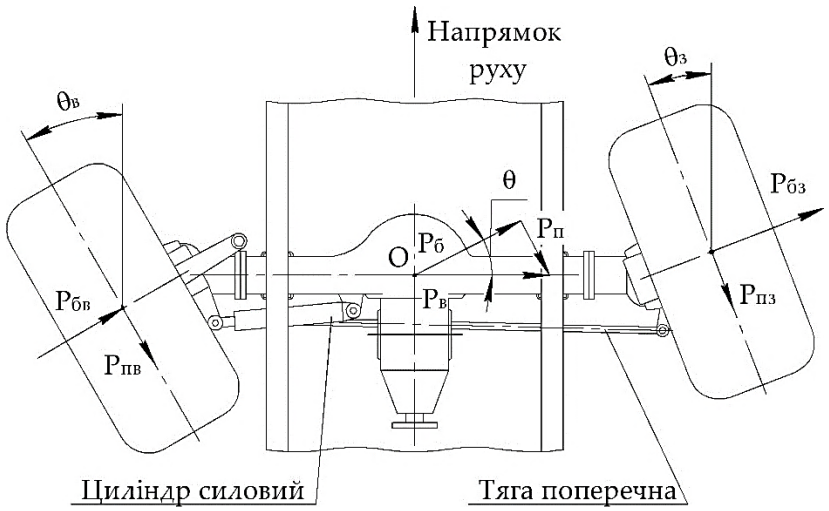



Рисунок 1 – Схема для дослідження кутів повороту керованих коліс повнопривідного автомобіля

.Силу від дії візка $P_в$ розкладемо на дві сили, які безпосередньо діють на керовані колеса: бічну $P_б = P_в \cos\theta$ та поздовжню $P_п = P_в \sin\theta$, де $\theta = (\theta_в + \theta_з)/2$ – середній кут повороту керованих коліс.

Бічна сила $P_б$ зумовлює рух керованих коліс з відведенням та призводить до перерозподілу навантаження на керовані колеса. Кут відведення від дії бічної сили $P_б$ буде:

$$\delta_к = \frac{P_б}{k_{вв}+k_{вз}}, \quad (2)$$

де $\delta_к$ – кут відведення керованих коліс від дії бічної сили $P_б$, град; $k_{вв}$, $k_{вз}$ – коефіцієнти опору бічному відведенню відповідно внутрішнього та зовнішнього керованих коліс, Н/град.

Нормальні реакції на керованих колесах без урахування впливу пружності підвіски та шин визначаться так:

$$R_з = \frac{G_п}{2} + P_б \frac{h}{K}, \quad (3)$$

$$R_в = \frac{G_п}{2} - P_б \frac{h}{K}, \quad (4)$$

де $R_з$, $R_в$ – нормальні реакції відповідно на зовнішньому та внутрішньому до центра повороту керованому колесі, Н; $G_п$ – навантаження на керований міст, Н; $h$ – відстань від опорної поверхні до центра рами над керованим мостом, м; $K$ – колія керованих коліс, м.

Поздовжня сила $P_п$ утворює на керованому колесі відносно осі шворня момент закручування, який визначиться за виразом:

$$M_з = \frac{P_п}{2} l_ц \cos(\alpha_ш + \gamma_{ш0}), \quad (5)$$

де $M_з$ – момент закручування на керованому колесі, створений поздовжньою силою, відносно осі шворня, Н·м; $l_ц$ – довжина цапфи, м; $\alpha_ш$ – кут поперечного нахилу шворня, град; $\gamma_{ш0}$ – кут розвалу колеса у положенні прямолінійного руху, град.

Прикладений до зовнішнього колеса відносно осі шворня момент $M_з$ спричинить унаслідок деформації кермової трапеції та закручування шини відносно жорсткого диска зменшення кута повороту зовнішнього колеса $\theta_з$. Величина зменшення цього кута повороту унаслідок закручування шини визначиться так [4]:

$$\Delta\theta_ш = \frac{M_з}{C_\theta}, \quad (6)$$

де $\Delta\theta_ш$ – кут повороту диска унаслідок закручування шини зовнішнього колеса, град; $c_\theta$ – кутова жорсткість шини зовнішнього керованого колеса відносно вертикальної осі, Н·м/град.

Кут повороту зовнішнього колеса, зумовлений деформацією кермової трапеції, буде:

$$\Delta\theta_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{з}}}{C_{\text{тр}}}, \quad (7)$$

де $\Delta\theta_{\text{тр}}$ – кут повороту зовнішнього колеса, зумовлений деформацією кермової трапеції, град; $c_{\text{тр}}$ – жорсткість кермової трапеції, Н·м/град, яка визначається експериментально.

Ураховуючи вищенаведене, фактичний кут повороту правого, зовнішнього до центра повороту, колеса під час повороту ліворуч визначиться за виразом:

$$\theta_{\text{з}} = \theta_{\text{з}max} - \left(\delta_{\text{к}} + \Delta\theta_{\text{ш}} + \Delta\theta_{\text{тр}}\right), \quad (8)$$

де $\theta_{\text{з}max}$ – максимальний кут повороту зовнішнього керованого колеса під час повороту ліворуч, який визначається експериментально для автомобіля при установці керованих коліс на самоцентрувальні площадки, або із ТУ автомобіля.

Момент $M_{\text{з}}$ на внутрішньому керованому колесі спричинить тільки закручування шини відносно диска, положення якого фіксовано упором в обмежувач. Кут повороту ліворуч внутрішнього колеса $\theta_{\text{в}}$, згідно з рис. 1, визначимо за виразом:

$$\theta_{\text{в}} = \theta_{\text{в}max} - (\delta_{\text{к}} - \Delta\theta_{\text{ш}}), \quad (9)$$

де $\theta_{\text{в}max}$ – максимальний кут повороту ліворуч внутрішнього керованого колеса, який визначається експериментально для автомобіля при установці керованих коліс на самоцентрувальні площадки або із ТУ автомобіля.

Аналіз залежностей (8) та (9) показує, що під час повороту ліворуч кут повороту зовнішнього колеса $\theta_{\text{з}}$ суттєво зменшується, а внутрішнього практично не змінюється. Ураховуючи збільшення навантаження на зовнішнє кероване колесо та вищенаведені закономірності зміни кута його повороту, з достатньою для практики точністю, мінімальний радіус траєкторії руху під час повороту ліворуч визначатимемо за кутом повороту зовнішнього колеса $\theta_{\text{з}}$ та кутом відведення коліс візка.

Під час повороту праворуч кут повороту зовнішнього лівого колеса збільшується, оскільки для утримання максимального кута повороту внутрішнього правого колеса до упору в обмежувач необхідно повернути зовнішнє колесо на більший кут, щоб компенсувати зменшення його кута повороту від кочення з відведенням, деформації кермової трапеції та моменту від поздовжньої сили. Це призведе до зменшення мінімального радіуса повороту під час повороту праворуч порівняно з поворотом ліворуч.

Перевірку достовірності отриманих залежностей для визначення кутів повороту керованих коліс проводили побічним методом, визначаючи мінімальний радіус повороту автомобіля. Для цього було використано повнопривідний триосьовий автомобіль КрАЗ-6322-02, база якого складала 5,3 м, база візка – 1,4 м, колія – 2,16 м, відстань від опорної поверхні до центра рами – 0,86 м, максимальні кути повороту керованих коліс: зовнішнього – 26,6°, внутрішнього – 32,2°. Автомобіль було оснащено широкопрофільними шинами 21,5/75R21 мод. ИД-370, кутова жорсткість шини – 345,4 Н·м/град, коефіцієнт опору бічному відведенню – 3183 Н/град при навантаженні на колесо 31400 Н та тиску повітря 0,545 МПа.

Кут повороту зовнішнього колеса, з урахуванням пружності кермової трапеції, визначали експериментально при максимальному куті повороту внутрішнього керованого колеса. Для цього зовнішнє колесо установлювали на самоцентрувальну площадку, а внутрішнє – на підставку з високим коефіцієнтом зчеплення та спеціальним кронштейном фіксувалось у крайньому положенні. До зовнішнього керованого колеса через закріплений до нього важіль довжиною 3,05 м прикладалось зусилля, яке фіксувалось динамометром. За кожного значення прикладеного моменту $M_{\text{з}}$ визначали зміну кута повороту колеса $\Delta\theta_{\text{тр}}$. Аналіз отриманих результатів свідчить, що кут повороту зовнішнього колеса залежно від прикладеного до колеса моменту змінюється нелінійно.

Експериментальні дослідження мінімального радіуса повороту проводили для двох станів автомобіля – автомобіль без вантажу та з вантажем. Мінімальний радіус повороту визначали на сухій асфальтобетонній поверхні під час повороту ліворуч та праворуч за траєкторією руху зовнішнього керованого колеса по сліду, що залишало колесо під час руху. Результати експериментальних досліджень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Мінімальний радіус повороту автомобіля КрАЗ-6322-02

| Стан автомобіля | Триосьовий без вантажу | | Триосьовий з вантажем | |
|---|---|---|---|---|
| Маса автомобіля, кг | 12220 | | 23870 | |
| Напрямок повороту | Ліворуч | Праворуч | Ліворуч | Праворуч |
| Мінімальний радіус повороту, м | 12,5 | 11,95 | 13,15 | 12,35 |

Із аналізу таблиці 1 видно, що у разі повороту праворуч мінімальний радіус повороту менший, оскільки праве кероване колесо є внутрішнім (кут повороту обмежено упором), а кут повороту лівого для забезпечення стабільності правого колеса, враховуючи пружність трапеції, повернуто на більший кут.

Результати досліджень показали, що різниця між експериментальними значеннями мінімального радіуса повороту та розрахованими, з урахуванням залежності (8) у разі повороту ліворуч, не перевищують 170 мм, що складає 1,36 %.

Із аналізу наведеного випливають наступні висновки:

1. Сили, що виникають під час руху по колу візка триосьового автомобіля, змінюють кути повороту керованих коліс, унаслідок чого збільшується мінімальний радіус повороту триосьового автомобіля порівняно з двоосьовим автомобілем з такою ж базою.

2. Мінімальний радіус повороту автомобіля залежить від напрямку повороту. За пружності кермової трапеції у разі повороту праворуч кут повороту лівого зовнішнього колеса збільшиться, що спричинить зменшення мінімального радіуса повороту порівняно з поворотом ліворуч.

**Список використаних джерел**

1. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля. Київ: Арістей, 2010. 155 с.

2. Kang Y.-H., Pang D.-C., Zeng Y.-C. Optimal Dimensional Synthesis of Ackermann Steering Mechanisms for Three-Axle, Six-Wheeled Vehicles. *Appl. Sci*, 2025. 15. P. 800.

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. Mateichyk, V., Soltus, A.; Klimov, E., Smieszek, M., Kostian, N., Tarandushka, L., Marchuk, N. 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/machines13050394

***Клімов Едуард Сергійович*** **–** кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, e-mail: edward.klimov@gmail.com

***Солтус Анатолій Петрович*** **–** доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації, Черкаський державний технічний університет, e-mail: auto.soltus@gmail.com

***Eduard Klimov*** **–** PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Automobiles and Tractors Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, e-mail: edward.klimov @gmail.com

***Anatolii Soltus*** **–** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Cars and Technologies of Their Operation Department, Cherkasy State Technological University, e-mail: auto.soltus @gmail.com

УДК 629.1

**Коваленко Р.І.**

# УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПІДІГРІВНИКА ПАЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

*Запропонована удосконалена конструкція підігрівника палива дизельного двигуна внутрішнього згоряння до якої було додано саморегулюючий нагрівальний кабель, електрокабель, вимикач і акумуляторну батарею. Він дозволяє забезпечити одночасний підігрів палива як в паливному баку так і в інших конструктивних елементах системи живлення.*
***Ключові слова:*** *дизельне паливо, підігрівник палива, саморегулюючий нагрівальний кабель, експлуатація, двигун, транспортний засіб.*

*An improved design of a fuel heater for a diesel internal combustion engine has been proposed, to which a self-regulating heating cable, an electric cable, a switch and a battery have been added. It allows for simultaneous heating of fuel both in the fuel tank and in other structural elements of the power supply system.*
***Key words:*** *diesel fuel, fuel heater, self-regulating heating cable, operation, engine, vehicle.*

Відомо, що з настанням похолодань можуть виникати проблеми з експлуатацією транспортних засобів, які обладнані дизельними двигунами внутрішнього згоряння. Суть вказаної проблеми переважно полягає у тому, що при низьких температурах дизельне паливо стає більш густим через кристалізацію парафінів і це погіршує його протікання по паливопроводах та інших конструктивних елементах системи живлення. Відповідно обрана тема дослідження є актуальною.

З метою запобігання вказаної раніше проблемі рекомендується використовувати паливо відповідного виду (зимове або арктичне), а також користуватися різними передпусковими підігрівачами та системами підігріву палива, якщо ними обладнаний транспортний засіб.

Кожен з цих заходів звичайно має свої певні обмеження у застосуванні. Якщо розглядати використання відповідного виду палива, то тут можуть бути проблеми пов’язані з його якістю. Водночас важливо розуміти, що водій повинен завчасно до настання похолодання заправити ним паливний бак свого транспортного засобу, а це не завжди є можливим.

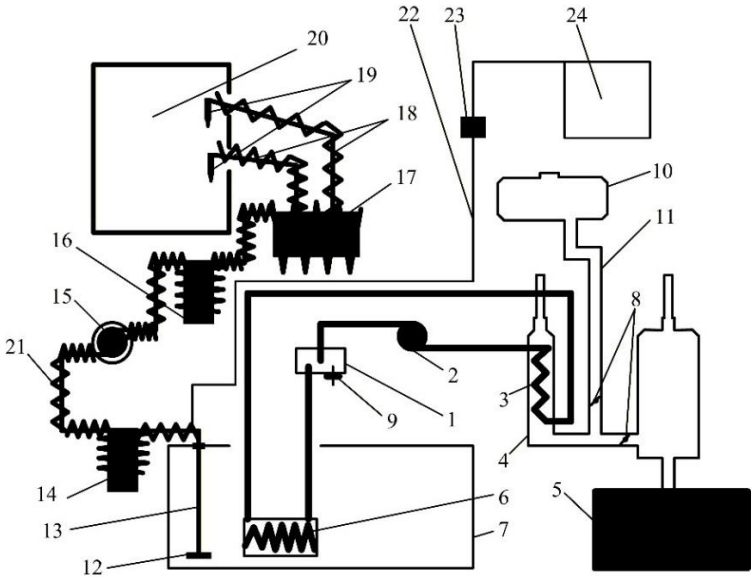
Більшість моделей передпускових підігрівачів забезпечують підігрів охолоджувальної рідини та її перекачування по сорочці охолодження двигуна, що дозволяє частково прогріти двигун і покращити його пускові властивості. У випадку, коли паливо буде густим ця система може не допомогти здійснити пуск двигуна.

Системи підігріву палива зазвичай встановлюються в паливопроводах перед паливними фільтрами або в паливному баку поблизу паливозабірника. Водночас вони не забезпечують підігрів палива по всій довжині паливопроводу і того, яке перебуває у інших конструктивних елементах системи живлення. Одним із прикладів конструкції такої системи підігріву палива є система описана в [1]. Ця система саме забезпечує підігрів палива в паливному баку поблизу паливозабірника і має недоліки, які були описані раніше.

Метою дослідження є удосконалення конструкції підігрівника палива дизельного двигуна внутрішнього згоряння шляхом додавання до неї додаткових конструктивних елементів.

Удосконалена конструкція підігрівника палива дизельного двигуна внутрішнього згоряння наведена на рис. 1. У якості додаткових конструктивних елементів було додано саморегулюючий нагрівальний кабель, який встановлюється на паливопроводи починаючи від паливного бака та інші конструктивні елементи системи живлення, а також електрокабель, вимикач і акумуляторну батарею. При подаванні живлення до саморегулюючого нагрівального

кабелю він починає нагріватися і віддавати тепло. Це тепло передається до поверхні паливопродів та інших конструктивних елементів системи живлення підігріваючи дизельне паливо, яке в них міститься. Інша частина підігрівника палива дизельного двигуна внутрішнього згоряння працює так, як описано в [1]. Окрема акумуляторна батарея під час вмикання в роботу підігрівника палива дизельного двигуна внутрішнього згоряння дозволяє запобігти надмірному розряджанню основної акумуляторної батареї щоб запобігти погіршенню роботи електростартера.




1 – ємність для охолоджуючої рідини; 2 – рідинний насос; 3 – теплообмінник; 4 – додатковий трубопровід; 5 – випускна труба двигуна; 6 – нагрівач; 7 – паливний бак; 8 – регулювальна заслінка; 9 – датчик температури; 10 – автономний повітряний обігрівач кабіни транспортного засобу; 11 – трубопровід випуску відпрацьованих газів; 12 – паливозабірник; 13 – паливопровід; 14, 16 – паливний фільтр; 15 – паливний насос низького тиску; 17 – паливний насос високого тиску; 18 – паливопровід високого тиску; 19 – паливна форсунка; 20 – двигун внутрішнього згоряння; 21 – саморегулюючий нагрівальний кабель; 22 – електрокабель; 23 – вимикач; 24 – акумуляторна батарея

Рисунок 1 – Конструкція підігрівника палива дизельного двигуна внутрішнього згоряння

Таким чином, в роботі запропонована удосконалена конструкція підігрівника палива дизельного двигуна внутрішнього згоряння до якої було додано саморегулюючий нагрівальний кабель, електрокабель, вимикач і акумуляторну батарею.

**Список використаних джерел**

1. Пат. 152974 Україна: МПК (2023.01) F02N 19/04 (2010.01), F01B 27/00 «Підігрівник палива дизельного двигуна внутрішнього згоряння»; заяв. № u202204024 від 26.10.2022; опубл. 03.05.2023, бюл. № 18.

***Коваленко Роман Іванович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України (18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8, ауд. 130, e-mail: pandora.kr@ukr.net).

***Kovalenko Roman*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering and Emergency and Rescue Equipment of the National University of Civil Protection of Ukraine (18034, Cherkasy, Onopriyenko Street., 8, room 130, e-mail: pandora.kr@ukr.net).

УДК 629.35

**Ковальчук І.В., Мороз Л.В., Пугачева К.В., Бучко О.Ю.**

# ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ ПРИ РОБОТІ ДВИГУНА ЗА ДИЗЕЛЬНИМ І ГАЗОДИЗЕЛЬНИМ ЦИКЛАМИ

*Транспорт споживає близько 17% всієї первинної енергії у світі, використовуючи при цьому переважно нафту. Частка нафти у запасах енергоносіїв, що видобуваються, становить близько 12,6% загальних запасів органічних палив, а з урахуванням додаткових – усього 3,4% загальних ресурсів. Порівнявши ці дані з сучасним рівнем світової потреби нафти, яка становить близько 40% загальних витрат первинних джерел енергії, вбачається невідповідність між рівнем витрат нафти та її вмістом у надрах нашої планети. За прогнозом, збільшення виробництва енергії буде проходити при зниженні частки нафти з 43% у 1980 р. до 30…32% у 2000 р. та 21…23% у 2020 р. Виникає закономірний інтерес у максимально ефективному використанні не лише самої нафти, але і нафтопродуктів, а також природного газу, оскільки транспортні витрати є одними із ключових у ціноутворенні товарів, робіт чи послуг.*

*Під час розробки нових двигунів для вантажних автомобілів виробники все більше уваги приділяють способам поліпшення екологічних показників: покращенню якості сумішоутворення, оптимальні зміні фаз газорозподілу та формі камери згорання, застосуванню додаткових пристроїв та каталізаторів, що покращують екологічні показники вантажних автомобілів.*

***Ключові слова:*** *транспорт, двигун, паливо, шкідливі речовини, дизель, газ.*

*Transport consumes about 17% of all primary energy in the world, using mainly oil. The share of oil in the reserves of extracted energy carriers is about 12.6% of the total reserves of organic fuels, and taking into account additional ones - only 3.4% of the total resources. Comparing these data with the current level of world demand for oil, which is about 40% of the total costs of primary energy sources, one sees a discrepancy between the level of oil consumption and its content in the bowels of our planet. According to the forecast, an increase in energy production will occur with a decrease in the share of oil from 43% in 1980. to 30…32% in 2000. and 21…23% in 2020. There is a natural interest in the most efficient use of not only oil itself, but also oil products, as well as natural gas, since transport costs are one of the key factors in the pricing of goods, works or services.*

*When developing new engines for trucks, manufacturers are paying more and more attention to ways to improve environmental performance: improving the quality of mixture formation, optimal changes in gas distribution phases and the shape of the combustion chamber, and the use of additional devices and catalysts that improve the environmental performance of trucks.*

***Key words:*** *transport, engine, fuel, harmful substances, diesel, gas.*

Для повного аналізу усіх аспектів переобладнання дизеля в газодизель крім енергетичних показників та паливної економічності автомобіля необхідно також дослідити екологічні показники автомобіля в умовах експлуатації.

Провівши розрахунки на математичній моделі, було визначено масові викиди оксиду вуглецю CO, вуглеводнів $C_mH_n$, оксидів азоту $NO_x$, твердих частинок C, викиди шкідливих речовин *(ШР)* при русі за міським їздовим циклом згідно з ДСТУ 20306-90. Розрахунки проводились при різних навантаженнях. За одиницю відносної агресивності прийнято агресивність оксиду вуглецю.

Аналізуючи відповідні розрахунки видно, що сумарні питомі викиди ШР, приведені до оксиду вуглецю ΣCO майже цілком залежать від величини масових викидів оксидів азоту та його коефіцієнта відносної агресивності R. Саме завдяки цьому сумарні питомі викиди ШР приведені до оксиду вуглецю при роботі за дизельним циклом більші у порівнянні з роботою

за газодизельним циклом. Різниця становить при максимальному завантаженні 16% , при роботі без завантаження 12% (враховувались вуглеводні $\Sigma C_mH_n$ виміряні за методом полум'яно-іонізаційного допалювання) та 21% при максимальному завантаженні і 18% при роботі без завантаження (враховувались вуглеводні $C_mH_n$ виміряні за методом інфрачервоної спектроскопії).

Характер кривих масових викидів СО в залежності від завантаження майже однаковий, як при роботі за дизельним так і за газодизельним циклами, але при роботі за газодизельним циклом значення СО більші у 3,5 рази і досягають свого максимуму 19,3 г/цикл і 5,43 г/цикл при роботі за газодизельним і дизельним циклом відповідно при навантаженні, що дорівнює 4000 кг.

Значення масових викидів $C_mH_n$ (виміряних за методом інфрачервоної спектроскопії) при роботі за газодизельним циклом у декілька разів більше у межах всієї навантажувальної характеристики у порівнянні з роботою за дизельним циклом. Максимальне значення масових викидів $C_mH_n$ при роботі за газодизельним циклом становить 2,07 г/цикл при завантаженні 4000 кг.

Характер кривих масових викидів $\Sigma C_mH_n$ (виміряних за методом полум'яно-іонізаційного допалювання) такий самий, як і у масових викидів $C_mH_n$ (виміряних за методом інфрачервоної спектроскопії), але його значення значно більші і досягають свого максимального значення при завантаженні 4000 кг при роботі за газодизельним циклом – 6,38 г/цикл і 0,0219 г/цикл при роботі за дизельним циклом.

На відміну від оксиду вуглецю та вуглеводнів при роботі за газодизельним циклом масові викиди оксидів азоту за цикл менші ніж при роботі за дизельним циклом. Максимальне значення масових викидів оксидів азоту при роботі за дизельним циклом при завантаженні 4000 кг становить 6,94 г/цикл у порівнянні з 4,96 г/цикл при роботі за газодизельним циклом.

Залежність масових викидів твердих частинок С за цикл при роботі двигуна за газодизельним циклом при різних завантаженнях майже стала. Мінімум – 0,00007 грам/цикл спостерігається при русі автомобіля без завантаження, а максимум – при повному завантаженні 4000 кг – 0,000085 грам/цикл.

Залежність масових викидів твердих частинок С за цикл при роботі двигуна за дизельним циклом при різних завантаженнях постійно зростаюча, досягає свого максимуму 0,000225 г/цикл при максимальному завантаженні 4000 кг.

Для прогнозу споживання дизельного палива і скрапленого природного газу *(СПГ)*, при роботі за дизельним і газодизельним циклом, в залежності від умов експлуатації, були проведенні розрахунки паливної економічності з урахуванням крутного моменту, який визначається від зовнішнього навантаження. В якості показника зовнішнього навантаження було вибране положення важеля управління паливоподачею. Розрахунки проводились при значенні завантаження $M_b$ = 2000 кг.

Як видно з показаних залежностей, при роботі двигуна за газодизельним циклом, найменші сумарні питомі викиди приведенні до СО при $\varphi_в$ = 50%. При цьому ж значенні $\varphi_в$ спостерігається найбільші сумарні питомі викиди приведенні до СО при роботі двигуна за дизельним циклом.

## Висновки

1. Результати розрахунків паливної економічності вантажного автомобіля в різних експлуатаційних умовах показали, що зменшення витрати дизельного палива при роботі за газодизельним циклом за рахунок заміщення СПГ становить при мінімальному значенні навантаження ($M_b$= 0, кг) 62%, при максимальному навантаженні ця різниця досягає 73%.

2. Сумарні питомі викиди ШР перераховані до оксиду вуглецю при роботі за газодизельним циклом менші у порівнянні з роботою за дизельним циклом. Різниця становитьпри максимальному завантаженні 16%, при роботі без завантаження12% (враховувались вуглеводні $\Sigma C_mH_n$ виміряні за методом полум'яно-іонізаційного допалювання) та 21% при максималь-

ному завантаженні і 18% при роботі без завантаження (враховувались вуглеводні $C_mH_n$ виміряні за методом інфрачервоної спектроскопії).

3. Проведені розрахунки свідчать, що соціально-економічний збиток для держави від переобладнання дизеля в газодизель зменшиться 18,6 до 21% на 100 км пробігу в залежності від завантаженняавтомобіля.

**Список використаних джерел**

1. Захарчук В.І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В.І. Захарчук. – Луцьк: ЛНТУ, 2011 – 233 с.
2. Захарчук В.І., Захарчук О.В. Методи системного аналізу об'єктів автомобільного транспорту: навчальний посібник [Електронний ресурс] / В.І. Захарчук, О.В. Захарчук. – Луцьк: ЛНТУ, 2023 – 135 с. [Цит. 2026, 02 кві]. – Режим доступу : https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2023-11/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%97%D0%B0%D1%85%D0%B0%D1%80%D1%87%D1%83%D0%BA.pdf
3. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови. / Ю.Ф. Гутаревич, Л.П.Мержиєвська, О.В. Сирота, Д.М. Тріфонов. – К.: НТУ, 2015. – 224 с.
4. Уприскувальні системи живлення бензинових двигунів сучасних автомобілів: навчальний посібник [Електронний ресурс] / Я.Ю. Білоконь, М.А. Вайнтрауб. – К.: ІПТО НАПН України, 2015. – 248 с. [Цит. 2026, 02 кві]. – Режим доступу : https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/165889/1/Upryskuvalni%20supply%20system.pdf
5. Шапко В. Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння: навчальний посібник. / В.Ф. Шапко. – Харків: Точка, 2014. – 148 с.
6. Яцковський В. І. Сучасні методи розрахунків ДВЗ [Електронний ресурс] / В.І. Яцковський, І.В. Гунько, О.В. Гуцаленко. – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2016. – 132 с. [Цит. 2026, 02 кві]. – Режим доступу : http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/10824.pdf
7. Автомобільні двигуни. Методи побудови теоретичних діаграм теплового, динамічного розрахунків та характеристики автотракторних двигунів: навч. посіб. [Електронний ресурс] / В. Ф. Анісімов, В. В. Біліченко, В. І. Музичук, М. В. Митко. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 172 с. [Цит. 2026, 02 кві]. – Режим доступу : https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2023/Anisimov_2022_172.pdf

***Ковальчук Іван Васильович*** – доктор філософії у галузі права, старший викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету, **e-mail:** ivankovalchuk@vntu.edu.ua. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-7467-5317

***Мороз Лариса Василівна*** – старша викладачка кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету, e-mail: morozlarisa764@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-1319-8943

***Пугачева Крістіна Вікторівна –*** студентка, навчальна група 2КІТС-24б, Факультет менеджменту та інформаційної безпеки Вінницького національного технічного університету, e-mail: 07-24-367.stud@vntu.edu.ua

***Бучко Олексій Юрійович*** – студент, навчальна група 51-МАШмаг, Вінницький національний аграрний університет, м.Вінниця, e-mail: uleecsei@gmail.com

***Kovalchuk Ivan*** – PhD in law, senior Lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivankovalchuk@vntu.edu.ua. ORCID: https://orcid.org/ 0009-0007-7467-5317

***Moroz Larysa V.*** – senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: morozlarisa764@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/ 0009-0006-1319-8943

***Puhacheva Kristina*** – student, study group 2KITS-24b, Faculty of Management and information security Vinnytsia National Technical University, e-mail: 07-24-367.stud@vntu.edu.ua

***Buchko Oleksii Yuriiovych*** – student, study group 51-MASHmag, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, e-mail: uleecsei@gmail.com

УДК 669.017:620.193.5:629

**Колесніков В.О.**

# ОЦІНЮВАННЯ ВОДНЕВОЇ ПОШКОДЖУВАНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕМЕНТІВ ВОДНЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

*У роботі розглянуто проблему забезпечення надійності конструкційних матеріалів в умовах розвитку водневої енергетики та транспорту. Показано, що водень, широко застосовуваний у трубопровідних системах, засобах зберігання та паливних елементах, є суттєвим чинником деградації матеріалів через явище водневої крихкості, що призводить до зниження пластичності, тріщиностійкості та довговічності сплавів. Проаналізовано умови експлуатації елементів водневої інфраструктури, які зазнають комплексного впливу термомеханічних навантажень, трибологічних процесів і водневої дифузії.*

*Розглянуто сучасні методи оцінювання водневої пошкоджуваності, зокрема випробування типу SSRT, визначення параметрів тріщиностійкості та аналіз продуктів зношування. Показано, що довговічність матеріалів визначається мікроструктурою, напружено-деформованим станом і параметрами середовища. Встановлено, що формування наноструктурованого або дрібнозернистого приповерхневого шару підвищує стійкість матеріалів до воднева деградації завдяки створенню ефективних пасток водню, які знижують його рухливість і гальмують розвиток тріщин. Окреслено підходи до підвищення стійкості матеріалів та підкреслено важливість використання risk-based inspection для прогнозування ресурсу і забезпечення безпеки елементів водневої інфраструктури.*

***Ключові слова:*** *воднева деградація, воднева крихкість, конструкційні матеріали, воднева інфраструктура, водневий транспорт, дифузія водню, пастки водню, мікроструктура, наноструктурований шар, дрібнозерниста структура, тріщиностійкість.*

*The paper addresses the problem of ensuring the reliability of structural materials under the conditions of developing hydrogen energy and hydrogen transport systems. It is shown that hydrogen, widely used in pipeline systems, storage facilities, and fuel cells, is a significant factor in material degradation due to hydrogen embrittlement, which leads to a reduction in ductility, fracture toughness, and durability of alloys. The operating conditions of hydrogen infrastructure components, which are subjected to the combined effects of thermomechanical loading, tribological processes, and hydrogen diffusion, are analyzed.*

*Modern methods for assessing hydrogen damage are considered, including slow strain rate testing (SSRT), determination of fracture toughness parameters, and analysis of wear debris and machining chips. It is demonstrated that the durability of materials is governed by microstructural features, stress–strain state, and environmental parameters. It has been established that the formation of a nanostructured or fine-grained near-surface layer enhances resistance to hydrogen degradation due to the creation of effective hydrogen traps (grain boundaries, dislocations), which reduce hydrogen mobility, hinder its diffusion into the bulk material, and suppress crack initiation and propagation.*

*Approaches to improving material resistance are outlined, including alloying, application of protective coatings, and optimization of technological environments. The importance of applying risk-based inspection concepts for lifetime prediction and ensuring the safety of hydrogen infrastructure components is emphasized.*

***Key words:*** *hydrogen degradation, hydrogen embrittlement, structural materials, hydrogen infrastructure, hydrogen transport, hydrogen diffusion, hydrogen trapping, microstructure, nanostructured layer, fine-grained structure, fracture toughness, durability, tribology, wear, SSRT, risk-based inspection.*

У сучасних умовах декарбонізації енергетики та розвитку водневого транспорту особливої актуальності набуває проблема забезпечення надійності конструкційних матеріалів, що працюють у водневих середовищах. Водень широко використовується у трубопровідному транспорті, системах зберігання, паливних елементах та двигунах внутрішнього згоряння, що створює нові виклики для матеріалознавства [1-12].

Одним із ключових факторів деградації матеріалів є воднева крихкість (hydrogen embrittlement), яка проявляється у зниженні пластичності, тріщиностійкості та довговічності сплавів. Проникнення атомарного водню у кристалічну решітку призводить до локалізації пластичної деформації та ініціації мікротріщин [13, 14].

Особливо критичними є елементи водневої інфраструктури [15- 18], такі як:

- магістральні трубопроводи;
- резервуари високого тиску;
- компресорні станції;
- елементи водневого транспорту (паливні системи, а також деталі двигунів внутрішнього згоряння, що працюють на водневмісному паливі).

Ці компоненти працюють у складних умовах циклічних навантажень, тиску та агресивного середовища.

Дослідження показують, що трубопровідні сталі є високочутливими до водневої деградації, що може призводити до раптових руйнувань при експлуатації у газоподібному водні [19].

При цьому водень впливає на такі характеристики: границю міцності; пластичність (відносне подовження, звуження); втомну довговічність; тріщиностійкість ($K_{IC}$, $J_{IC}$); швидкість росту тріщин; опір крихкому руйнуванню.

У водневому транспорті, зокрема в системах на основі паливних елементів, конструкційні матеріали зазнають комплексного впливу термомеханічних навантажень, трибологічних контактів (тертя і зношування) та інтенсивної водневої дифузії, що призводить до розвитку взаємопов'язаних трибо-механічних і воднево-індукованих деградаційних процесів, включаючи водневе крихке руйнування та локалізовану пластичність.

Оцінювання водневої пошкоджуваності здійснюється за допомогою сучасних методів [20-24]:

- поздовжніх випробувань при низьких швидкостях деформації (SSRT - Slow Strain Rate Test);
- визначення тріщиностійкості ($K_{IC}$, $J_{IC}$);
- аналізу продуктів зношування та стружки;
- методів електрохімічного та газового наводнювання.

Важливим напрямом є використання підходів risk-based inspection (RBI) та моніторингу стану матеріалів, що дозволяє прогнозувати ресурс конструкцій водневої інфраструктури та запобігати аваріям [25].

Сучасні дослідження підтверджують, що довговічність матеріалів у водневому середовищі визначається сукупністю факторів [26]:

- мікроструктура (зерна, межі зерен, дислокації);
- пастки водню;
- напружено-деформований стан;
- параметри середовища (тиск, температура, концентрація водню).

Для підвищення стійкості матеріалів застосовують:

- легування та контроль мікроструктури;
- захисні покриття та бар'єрні шари;
- оптимізацію мастильних і технологічних середовищ;
- розроблення нових матеріалів для водневого транспорту та інфраструктури.

Бар'єрні покриття дозволяють суттєво зменшити проникнення водню в матеріал, що сприяє підвищенню його стійкості до водневої деградації та довговічності конструкцій [27].

Показано [1, 28-30], що формування наноструктурованого або дрібнозернистого приповерхневого шару сприяє підвищенню стійкості матеріалів до водневої деградації за рахунок створення великої кількості пасток водню (межі зерен, дислокації), які знижують його рухливість і ефективно гальмують дифузію вглиб матеріалу, а також стримують ініціацію і поширення тріщин. На рис. 1 наведено колаж, що ілюструє концепцію оцінювання водневої пошкоджуваності та довговічності конструкційних матеріалів елементів водневої інфраструктури.

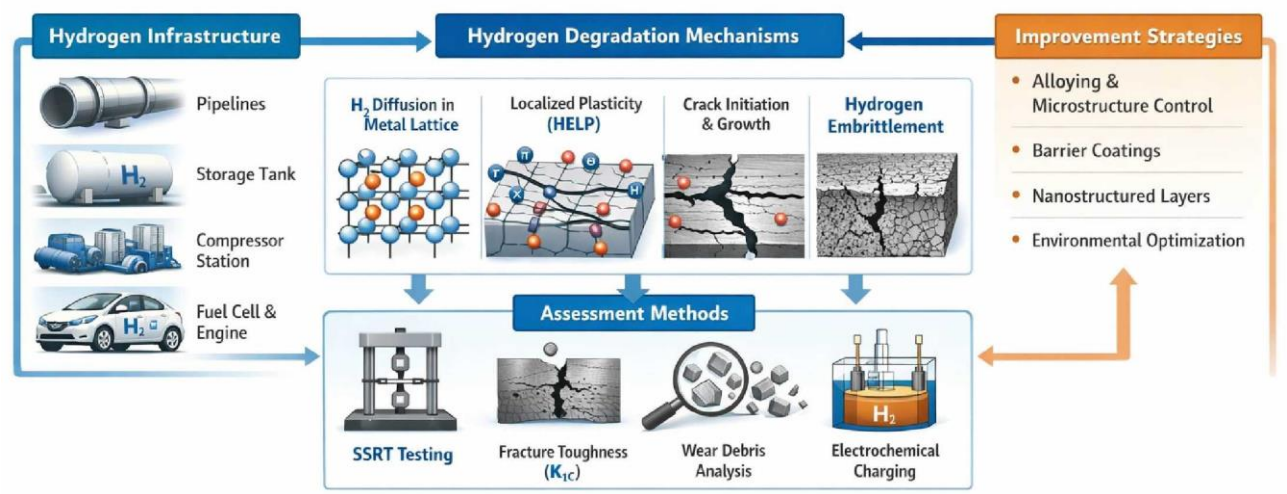



Рисунок 1 – Колаж, що ілюструє концепцію оцінювання водневої пошкоджуваності та довговічності конструкційних матеріалів елементів водневої інфраструктури

Таким чином, оцінювання водневої пошкоджуваності є ключовим інструментом забезпечення безпеки та довговічності елементів водневої інфраструктури і транспорту, а також основою для розроблення нових матеріалів і технологій у водневій енергетиці.

**Список використаних джерел**

1. Yu, H.; Díaz, A.; Lu, X.; Sun, B.; Ding, Y.; Koyama, M.; He, J.; Zhou, X.; Oudriss, A.; Feaugas, X.; Zhang, Z. Hydrogen Embrittlement as a Conspicuous Material Challenge — Comprehensive Review and Future Directions. Chem. Rev. 2024, 124, 6271–6392. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00624

2. Cheng, Y.; Wang, F.; Xiao, Y.; Liu, X.; Shi, Y.; Xu, L.; Han, Y. Review: Hydrogen Embrittlement in Hydrogen Pipeline. J. Mater. Sci. 2026, 61, 8391–8417. https://doi.org/10.1007/s10853-026-12455-y

3. Fan, X.; Cheng, Y.F. Hydrogen Pipelines and Embrittlement in Gaseous Environments: An Up-to-Date Review. Appl. Energy 2025, 387, 125636. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125636

4. 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.

5. Колесніков В.О. 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» освітньо-професійної програми «Транспорт» / Держ. закл. «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». – Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. – 118 с. https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/10023

6. Колесніков В.О. Водневі автомобілі та водневий транспорт. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024

р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 153–156.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. Р.С. Сидоренко, В.А. Ануфрієв, В.О. Колесніков. Нові технології в галузі автомобільного водневого транспорту. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 317-319. ISBN 978-966-641-950-0.

11. Бувалець М. Ю., Рулевська Т. Ф., Колесніков В. О. Стан впровадження водневих технологій на сучасному транспорті // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 31 - 36.

12. 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.

13. Ghadiani, H.; Farhat, Z.; Alam, T.; Islam, M.A. Assessing Hydrogen Embrittlement in Pipeline Steels for Natural Gas-Hydrogen Blends: Implications for Existing Infrastructure. Solids 2024, 5, 375-393. https://doi.org/10.3390/solids5030025

14. Руйнування та міцність трубних сталей у водневовмісних середовищах / І.М. Дмитрах, А.М. Сиротюк, Р.Л. Лещак – Львів : ПРОСТІР-М, 2020. – 222 с.

15. 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.

16. 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 міжнар. науково-практ. конф., 14–15 квіт. 2020 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – С. 31–45.

17. Балицький О. І., Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Іваськевич Л. М. Діагностика та розбудова водневої інфраструктури. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 37–40.

18. 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 жовт. 2023 р. , Вінниця. 2023. С. 179–181.

19. Fan, X.; Cheng, Y.F. Hydrogen Pipelines and Embrittlement in Gaseous Environments: An Up-to-Date Review. Appl. Energy 2025, 387, 125636. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125636

20. Kolesnikov, V. The Influence of Microstructure Parameters on the Formation of Cutting Products during Machining of Parts from Steels 38KhN3MFA Taking into Account the Influence of Hydrogen. In Advanced and Novel Technologies—Interdisciplinary Collaboration in Materials Science; Aikin, M., et al., Eds.; ANTICM 2025; Advances in Science, Technology & Innovation; Springer: Cham, Switzerland, 2025; pp. 77–88. https://doi.org/10.1007/978-3-032-00373-7_7

21. 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

22. Paterlini, L.; Re, G.; Curia, A.; Ormellese, M.; Bolzoni, F. Mechanical Testing Methods for Assessing Hydrogen Embrittlement in Pipeline Steels: A Review. Metals 2025, 15, 1123. https://doi.org/10.3390/met15101123

23. 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

24. 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

25. Campari, A.; Ustolin, F.; Alvaro, A.; Paltrinieri, N. A Review on Hydrogen Embrittlement and Risk-Based Inspection of Hydrogen Technologies. Int. J. Hydrogen Energy 2023, 48, 35316–35346. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.293

26. Li, X.; Zhang, J.; Cui, Y.; Djukic, M.B.; Feng, H.; Wang, Y. Review of the Hydrogen Embrittlement and Interactions between Hydrogen and Microstructural Interfaces in Metallic Alloys: Grain Boundary, Twin Boundary, and Nano-Precipitate. Int. J. Hydrogen Energy 2024, 72, 74–109. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.05.257

27. Anwesha Kanjilal, Maria Jazmin Duarte, Christina Scheu, Gerhard Dehm. 2025. Hydrogen Permeation Barrier Layers for the Hydrogen Economy. Annual Review Materials Research. 55:125-149. https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-080222-123959

28. Kanjilal, A.; Duarte, M.J.; Scheu, C.; Dehm, G. Hydrogen Permeation Barrier Layers for the Hydrogen Economy. Annu. Rev. Mater. Res. 2025, 55, 125–149. https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-080222-12395

29. Islam, A.; Li, Q.; Storimans, E.; Ton, K.; Alam, T.; Farhat, Z.N. Effect of Microstructure on Hydrogen Permeation and Trapping in Natural Gas Pipeline Steels. npj Mater. Degrad. 2025, 9, 70. https://doi.org/10.1038/s41529-025-00615-5

30. Chen, Y.-S.; Huang, C.; Liu, P.-Y.; Yen, H.-W.; Niu, R.; Burr, P.; Moore, K.L.; Martínez-Pañeda, E.; Atrens, A.; Cairney, J.M. Hydrogen Trapping and Embrittlement in Metals—A Review. Int. J. Hydrogen Energy 2025, 136, 789–821. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.076

***Колесніков Валерій Олександрович*** – кандидат техн. наук, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

***Kolesnikov Valerii*** – Candidate of Technical Sciences, 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; Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technology and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 2 Viktora Novikova St., Lubny 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

УДК 621.891:629.33:620.193:544.723

**Колесніков В.О.**

# ПРОДУКТИ ЗНОШУВАННЯ В ДВИГУНАХ АВТОМОБІЛІВ

*У роботі розглянуто особливості утворення та характеристики продуктів зношування в автомобільних двигунах внутрішнього згоряння. Показано, що процеси зношування є результатом комплексної взаємодії механічних, фізико-хімічних і теплових факторів у зонах контакту деталей. Проаналізовано основні вузли двигуна, в яких відбувається інтенсивне формування продуктів зношування, а також констатовано взаємозв'язок між механізмами зношування (абразивним, адгезійним, втомним та корозійно-механічним) і морфологією частинок.*

*Визначено, що продукти зношування являють собою інформативний індикатор стану трибосистеми двигуна, а їх розмір, форма та хімічний склад залежать від умов тертя, режиму змащення та ступеня деградації матеріалу. Окрему увагу приділено впливу забруднення мастильного середовища та ролі частинок як «третього тіла» у контактній взаємодії.*

*Показано перспективність застосування методів аналізу продуктів зношування, зокрема ферографії, спектрального аналізу та комп'ютерного зору, для діагностики технічного стану двигунів і прогнозування їх ресурсу. Відзначено актуальність досліджень у зв'язку з впровадженням водню як альтернативного палива, що суттєво впливає на процеси зношування та деградації матеріалів.*

*Отримані результати підтверджують, що комплексний аналіз продуктів зношування є ефективним інструментом для реалізації концепції діагностики за станом і підвищення надійності автомобільних двигунів.*

***Ключові слова:*** *продукти зношування; двигуни внутрішнього згоряння; трибологія; зношування; ферографія; морфологія частинок; мастильне середовище; діагностика стану; водень; водневе середовище; трибосистеми; зносостійкість.*

*The paper examines the formation mechanisms and characteristics of wear debris in automotive internal combustion engines. It is shown that wear processes result from the complex interaction of mechanical, physicochemical, and thermal factors occurring in contact zones of engine components. The main engine units where wear debris is intensively generated are analyzed, and the relationship between wear mechanisms (abrasive, adhesive, fatigue, and tribocorrosion) and particle morphology is established.*

*It is determined that wear debris serves as an informative indicator of the tribosystem condition, while its size, shape, and chemical composition depend on friction conditions, lubrication regime, and the degree of material degradation. Particular attention is paid to the influence of lubricant contamination and the role of particles as a "third body" in contact interaction.*

*The prospects of applying wear debris analysis methods, including ferrography, spectrometric analysis, and computer vision techniques, for engine condition monitoring and lifetime prediction are demonstrated. The relevance of this research is emphasized in the context of hydrogen implementation as an alternative fuel, which significantly affects wear processes and material degradation.*

*The obtained results confirm that comprehensive wear debris analysis is an effective tool for condition-based maintenance and improving the reliability of automotive engines.*

***Key words:*** *wear debris; internal combustion engines; tribology; wear; ferrography; particle morphology; lubrication; condition monitoring; hydrogen; hydrogen environment; tribosystems; wear resistance.*

У процесі експлуатації автомобільних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) відбувається поступове руйнування поверхневих шарів деталей у зоні контакту, що супроводжується

утворенням продуктів зношування. Згідно з сучасними уявленнями трибології, зношування є результатом складної взаємодії механічних, фізико-хімічних і теплових процесів, які призводять до відокремлення матеріалу у вигляді частинок різної форми та розміру [1-8].

Основними вузлами двигуна, де інтенсивно генеруються продукти зношування, є пара тертя «поршневе кільце – циліндр», підшипники ковзання, клапанний механізм і розподільчий вал [4, 9-12]. У цих контактах реалізуються різні механізми зношування: абразивний, адгезійний, втомний та корозійно-механічний. Наприклад, абразивне зношування часто спричинене потраплянням твердих частинок (пил, сажа), що діють як третє тіло у контакті [1, 2, 11-17].

Продукти зношування (wear debris) являють собою частинки металу (можуть містити оксиди), які відокремлюються від поверхні внаслідок пластичної деформації та мікроруйнування. Їх морфологія може бути різною: пластинчастою, стрічкоподібною, сферичною або уламковою, що визначається механізмом зношування та умовами тертя [18, 19]. У сучасних умовах розвитку транспортної галузі спостерігається тенденція до впровадження водню як альтернативного палива для двигунів внутрішнього згоряння, що зумовлює зростання актуальності досліджень процесів зношування та утворення продуктів зношування в умовах водневмісних середовищ [20-22] Зовнішній вигляд частинок зношування, що утворились в умовах сухого тертя, можна подивитись на рис. 1.

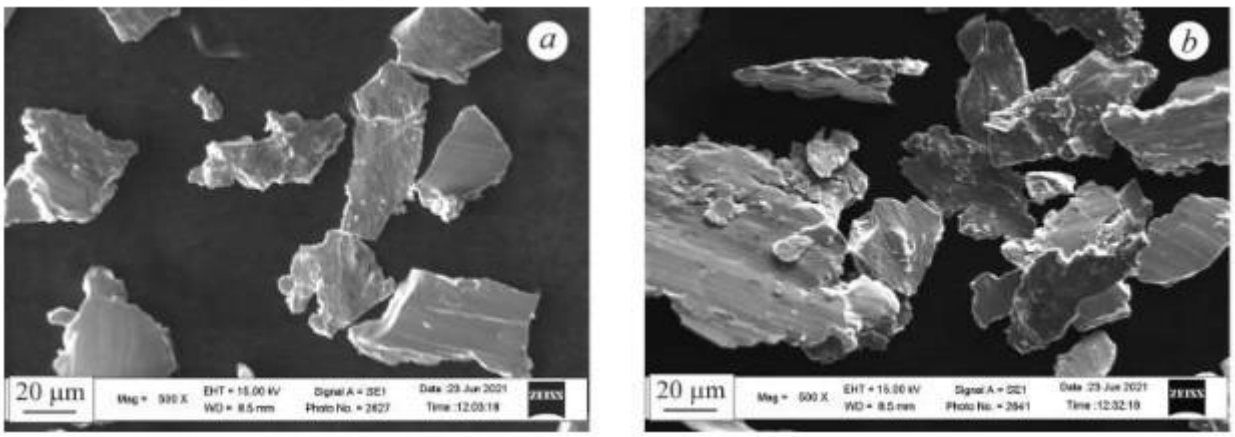



Рисунок 1 – Частинки зношування з високоазотної сталі DDT 68 (P = 500 N, V = 2,25 m/s), які утворились в умовах сухого тертя: a – ненаводнена сталь; b – після наводнення [23]

Формування продуктів зношування в трибосистемах визначається умовами контакту, зокрема топографією поверхонь, ступенем пластичної деформації та режимом змащення [7, 8, 13]. Як показано в роботах Trzepieciński [24-28], зміна мікрогеометрії поверхні внаслідок деформації істотно впливає на коефіцієнт тертя і характер контактної взаємодії, що безпосередньо визначає механізми відокремлення матеріалу та морфологію частинок зношування. Додатково встановлено, що параметри мастильного режиму та контактного тиску суттєво впливають на інтенсивність зношування та стабільність трибологічних процесів.

Хімічний склад продуктів зношування двигунів внутрішнього згоряння зазвичай включає елементи, характерні для матеріалів деталей та мастильного середовища, зокрема залізо (Fe), хром (Cr), кремній (Si), вуглець (C), а також кисень (O), який свідчить про розвиток окисних процесів. У ряді випадків у складі частинок також можуть бути присутні елементи присадок мастильних матеріалів (Zn, P, Ca). Розмір частинок зношування в мастильних середовищах за нормальних умов експлуатації зазвичай становить 1–15 мкм, однак у разі розвитку інтенсивного абразивного або втомного зношування може досягати десятків і навіть сотень мікрометрів. Збільшення розміру частинок призводить до порушення цілісності мастильної плівки, підвищення контактних напружень і, як наслідок, інтенсифікації процесів зношування [1, 2, 15, 29].

Важливим фактором утворення продуктів зношування є забруднення мастильного середовища. Потрапляння пилу, піску або продуктів згоряння значно інтенсифікує абразивне зношування основних деталей двигуна. Як показано в оглядових роботах, саме тверді частинки є однією з головних причин деградації поршневої групи та підшипників [30-32].

Зношування в двигунах має не лише локальний, але й системний характер. Частинки зношування циркулюють разом із мастильною оливою, потрапляючи у зони тертя та викликаючи вторинне зношування. Це явище формує так зване «третє тіло» в контакті, яке істотно впливає на трибологічні характеристики системи.

Сучасні дослідження в галузі трибології силових установок показують, що такі явища, як задир (scuffing) у парі «поршень–циліндр», супроводжуються інтенсивним утворенням продуктів зношування та різким зростанням температури і тертя, що може призводити до заклинювання двигуна [33].

Для оцінювання технічного стану двигуна широко застосовують методи аналізу продуктів зношування. До них належать ферографія, спектральний аналіз, електронна мікроскопія та методи машинного зору [34-39]. Зокрема, ферографічний аналіз дозволяє визначити концентрацію частинок та стадію зношування, що змінюється в залежності від пробігу двигуна [40].

Аналіз продуктів зношування є основою сучасних систем діагностики технічного стану двигунів. Він дає змогу виявляти ранні стадії дефектів, прогнозувати відмови та оптимізувати інтервали технічного обслуговування. Це особливо важливо для підвищення надійності та ресурсу автомобільної техніки.

Перспективним напрямом є використання автоматизованих систем аналізу морфології частинок із застосуванням штучного інтелекту, що дозволяє підвищити точність визначення механізмів зношування та ступеня деградації матеріалів.

Таким чином, продукти зношування є не лише наслідком руйнування матеріалу, але й важливим джерелом інформації про стан трибосистем двигуна. Їх комплексний аналіз дозволяє реалізувати концепцію діагностики за станом (condition monitoring) та забезпечити ефективну експлуатацію автомобільних двигунів.

**Список використаних джерел**

1. Hutchings I. M., Shipway P. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. – 2nd ed. – Oxford: Elsevier Science, 2017. – 412 p. – ISBN 9780081009109.
2. Stachowiak G. W., Batchelor A. W. Engineering Tribology. – 4th ed., repr., corr. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013. – 884 p. – ISBN 9780123977762.
3. Wear [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Wear (дата звернення: 31.03.2026).
4. 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.
5. 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.
6. Балицький О.І., Колесніков В.О Дослідження продуктів зношування високоазотних марганцевих сталей // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2009, 45. – № 4. – С. 93 – 99.
7. Kolesnikov V.O. Investigation of the wear products of high-nitrogen steel after hydrogenation // Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa XA/2010. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture – OLPAN, 2010, 10A, 271 - 275 p. http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot10a/Kolesnikov.pdf
8. Балицький О.І., Колесніков В.О. Дослідження продуктів зношування аустенітних марганцевих чавунів // Фізико–хімічна механіка матеріалів. – 2004. – № 1 – С. 65–69.

9. Baofeng Zhang, Chang Ge, Xing Xu, Lining Liu, Xuan Ma, Ardian Morina, Xiqun Lu. Evolution mechanism of wear characteristics of cylinder liner and piston ring under starved lubrication condition // Tribology International. – 2025. – Vol. 208. – Article 110622. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.triboint.2025.110622

10. Balitskii, A.; Kolesnikov, V.; Abramek, K.F.; Balitskii, O.; Eliasz, J.; Marya, H.; Ivaskevych, L.; Kolesnikova, I. Influence of Hydrogen-Containing Fuels and Environmentally Friendly Lubricating Coolant on Nitrogen Steels' Wear Resistance for Spark Ignition Engine Pistons and Rings Kit Gasket Set. Energies 2021, 14, 7583. https://doi.org/10.3390/en14227583

11. Papadopoulos P, Priest M, Rainforth WM. Investigation of fundamental wear mechanisms at the piston ring and cylinder wall interface in internal combustion engines. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. 2007;221(3):333-343. doi:10.1243/13506501JET254

12. Колесніков В. О. Дослідження зносотривкості перспективних сталей для автомобільної галузі, а також розпізнавання та ідентифікація їх продуктів зношування // Матеріали VI-ї Міжн. науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 79 - 89.

13. 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. ISBN 978-966-641-950-0.

14. Andersson, P., Tamminen, J., & Sandström, C.-E. (2002). Piston ring tribology: A literature survey. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tiedotteita - Research Notes No. 2178 https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2178.pdf

15. Williams J. A. Wear and wear particles—some fundamentals // Tribology International. – 2005. – Vol. 38, Issue 10. – P. 863–870. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.triboint.2005.03.007

16. Ali M. K. A., Ezzat F. M. H., Abd El-Gawwad K. A., Salem M. M. M. S. Effect of lubricant contaminants on tribological characteristics during boundary lubrication reciprocating sliding [Електронний ресурс] // *arXiv*. – 2017. – Режим доступу: https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.04448 (дата звернення: 31.03.2026).

17. Abdullayev, H.; Huseynzade, E.; Sable, H. A Comprehensive Review of Wear Mechanisms and Mitigation Strategies for Tribological Systems. Tribology in Industry 2025, 47, 294–312. https://doi.org/10.24874/ti.1897.02.25.04

18. Колесников В.А., Балицкий А.И., Погорелов О.А. Классификация частиц износа сталей (по морфологии), образовавшихся в условиях трения качения // Наукові вісті Далівського університету // Електроний журнал СНУ ім. В.Даля, 2011. – № 4.

19. Wear particles [Електронний ресурс] // Tribonet. – Режим доступу: https://www.tribonet.org/wiki/wear-particles/ (дата звернення: 31.03.2026).

20. 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.

21. Колесніков В.О. 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» освітньо-професійної програми «Транспорт» / Держ. закл. «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». – Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. – 118 с.

https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/10023

22. Балицький О. І., Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Іваськевич Л. М. Діагностика та розбудова водневої інфраструктури. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 37–40.

23. Балицький О. І., Колесніков В. О., Іваськевич Л. М., Гаврилюк М. Р. Вплив особливостей навантаження та наводнювання на триботехнічні властивості сталей. Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2022. Т. 58, № 4. С. 73-80. URL: http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001442576

24. Trzepiecinski, T. A Study of the Coefficient of Friction in Steel Sheets Forming. Metals 2019, 9, 988. https://doi.org/10.3390/met9090988

25. Trzepieciński, T. Recent Developments and Trends in Sheet Metal Forming. Metals 2020, 10, 779. https://doi.org/10.3390/met10060779

26. Trzepieciński, T.; Fejkiel, R. On the Influence of Deformation of Deep Drawing Quality Steel Sheet on Surface Topography and Friction. Tribology International 2017, 115, 78–88. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.05.007

27. Miniewicz, A.; Sobolewska, A.; Piotrowski, W.; Karpinski, P.; Bartkiewicz, S.; Schab-Balcerzak, E. Thermocapillary Marangoni Flows in Azopolymers. Materials 2020, 13, 2464. https://doi.org/10.3390/ma13112464

28. Trzepieciński, T.; Szwajka, K.; Szewczyk, M. Analysis of Surface Topography Changes during Friction Testing in Cold Metal Forming of DC03 Steel Samples. Coatings 2023, 13, 1738. https://doi.org/10.3390/coatings13101738

29. Wear debris analysis [Електронний ресурс] // ScienceDirect. – Режим доступу: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/wear-debris-analysis (дата звернення: 31.03.2026).

30. Колесніков В.О., Шуліка С.О., Гаврилюк М.Р. Мастильні матеріали для транспортної галузі та енергомашинобудування. Частина 1. Деякі поради щодо застосування. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 166–178.

31. Колесніков В.О., Шуліка С.О., Гаврилюк М.Р. Мастильні матеріали для транспортної галузі та енергомашинобудування. Частина 2. Приклади випробувань. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII-ма міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2020 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 179–189.

32. Khorshid, E.A.; Nawwar, A.M. A Review of the Effect of Sand Dust and Filtration on Automobile Engine Wear. Wear 1991, 141, 349–371. https://doi.org/10.1016/0043-1648(91)90279-4

33. Tung, S.C. Powertrain Tribology Development Trends and Impact of Surface Engineering on Friction and Wear Control. In Surface Engineering—Foundational Concepts, Techniques and Applications; Wang, J., Ed.; IntechOpen: London, UK, 2025; Chapter 3. https://doi.org/10.5772/intechopen.1007649

34. 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.

35. Савінова В. В., Колесніков В.О. Застосування методів комп'ютерного зору в автомобільній індустрії // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С. 113 -120.

36. Пат. 108524 Україна, МПК G01N3/56, G 01N15/10. Спосіб визначення форми поверхні

частинок після сухого та водневого зношування системою комп'ютерного зору / Балицький О.О., Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р., Погорелов О.О., Колеснікова Є.Б.; Власник Фізико-механічний інститут. - № u 2015 12575; заявл. 21.12.2015; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14. – 11 с.

37. 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.

38. Селіванов С. І. Візуальні методи контролю якості виготовлення металевих деталей за допомогою технічного зору / С. І. Селіванов, Т. О. Стрілкова // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали 29-го Міжнар. молодіж. форуму, 16–19 квітня 2025 р. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Т. 1. – С. 61–63.

39. 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

40. Tiwari, A.; Sharma, S.K. Wear Debris Analysis of Internal Combustion Engine by Ferrography Technique. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology 2014, 3, 763–788. https://paper.researchbib.com/view/paper/21533

***Колесніков Валерій Олександрович*** – кандидат техн. наук, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу ЛНУ ім. Тараса Шевченка (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

***Kolesnikov Valerii*** – Candidate of Technical Sciences, 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; Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Luhansk Taras Shevchenko National University (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 2 Viktora Novikova St., Lubny 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

УДК 620.17:620.19:629.114.6

**Колесніков В.О., Балицький О.І., Балицька В.О., Хмель Я.**

# МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ПОЖЕЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

*У роботі розглянуто матеріалознавчі аспекти підвищення експлуатаційної довговічності конструкцій пожежних автомобілів, що функціонують у складних умовах змінних механічних навантажень, динамічних режимів руху, температурних коливань та впливу агресивних середовищ. Показано, що визначальну роль у забезпеченні ефективності функціонування пожежно-рятувальної техніки відіграє стійкість конструкційних матеріалів до втомного руйнування, зношування та корозійної деградації. Узагальнено сучасні підходи до підвищення ресурсу відповідальних вузлів і агрегатів, які передбачають застосування високоміцних сталей, алюмінієвих сплавів і композиційних матеріалів, а також формування оптимального структурно-фазового стану матеріалів у процесах виготовлення та ремонту.*

*Проаналізовано роль методів інженерії поверхні, термічної обробки та нанесення функціональних покриттів у підвищенні опору контактній втомі та різним механізмам зношування. Окрему увагу приділено сучасним засобам технічної діагностики, зокрема неруйнівному контролю, аналізу продуктів зношування та використанню цифрових систем моніторингу стану матеріалів. Показано, що комплексне врахування матеріалознавчих, технологічних та експлуатаційних чинників дозволяє підвищити надійність, безпеку та економічну ефективність використання пожежних автомобілів.*

***Ключові слова:*** *пожежні автомобілі; конструкційні матеріали; експлуатаційна довговічність; втомне руйнування; зношування; корозійна стійкість; інженерія поверхні; термічна обробка; функціональні покриття; неруйнівний контроль; аналіз продуктів зношування; технічна діагностика.*

*The paper considers materials science aspects of improving the operational durability of fire-fighting vehicles operating under complex conditions of variable mechanical loading, intensive dynamic motion regimes, temperature fluctuations and aggressive environmental effects. It is shown that the efficiency of fire-rescue equipment functioning is largely determined by the resistance of structural materials to fatigue failure, wear and corrosion degradation. Modern approaches to extending the service life of critical units and assemblies are summarized, including the application of high-strength steels, aluminum alloys and composite materials, as well as the formation of an optimal structural and phase state of materials during manufacturing and repair processes. The role of surface engineering methods, heat treatment and functional coatings in improving resistance to contact fatigue and various wear mechanisms is analyzed.*

*Particular attention is paid to modern condition monitoring techniques, including non-destructive testing, wear debris analysis and the use of digital diagnostic systems for assessing material degradation. It is demonstrated that a comprehensive consideration of materials science, technological and operational factors makes it possible to increase the reliability, safety and economic efficiency of fire-fighting vehicles.*

***Key words:*** *fire-fighting vehicles; structural materials; operational durability; fatigue failure; wear; corrosion resistance; surface engineering; heat treatment; functional coatings; non-destructive testing; wear debris analysis; technical diagnostics.*

Ефективність функціонування пожежних автомобілів значною мірою визначається довговічністю конструкційних матеріалів їхніх основних вузлів і агрегатів. У процесі експлуатації такі транспортні засоби зазнають складного комплексу впливів, що включає змінні механічні навантаження, інтенсивні динамічні режими руху, вплив агресивних середовищ, температурні коливання та вібраційні впливи. Це спричиняє розвиток втомних пошкоджень, зношування

поверхневих шарів та накопичення структурної деградації матеріалів, що у підсумку обмежує ресурс відповідальних конструкційних елементів [1-7].

Матеріалознавчі аспекти підвищення довговічності пожежної техніки пов'язані насамперед із забезпеченням високої міцності, тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості конструкційних матеріалів.

Як показано у фундаментальних дослідженнях з трибології, процеси зношування металів зумовлені складною взаємодією пластичної деформації, мікровтоми, адгезійної взаємодії та окиснення поверхневих шарів під час повторних контактних навантажень [8-10].

Особливості експлуатації пожежних автомобілів характеризуються поєднанням тривалих періодів простою з короткочасними режимами інтенсивної роботи під час виконання оперативних завдань. Така специфіка використання зумовлює необхідність забезпечення постійної технічної готовності машин і впровадження систем планово-попереджувального технічного обслуговування.

Вимоги до оцінювання технічного стану та ресурсу пожежної техніки регламентуються відповідними міжнародними стандартами [11].

Важливим напрямом підвищення довговічності конструкцій пожежних автомобілів є застосування сучасних високоміцних сталей, алюмінієвих сплавів і композиційних матеріалів, які забезпечують зменшення маси конструкцій і підвищення їхньої енергетичної ефективності. Використання передових матеріалів дозволяє підвищити питомі показники міцності та корозійної стійкості, що є критично важливим для транспортних засобів спеціального призначення [3, 5, 12-14].

Для прикладу, українська компанія PolyCar (Спец-Ком-Сервіс) проводить комплектування нових пожежних автомобілів на базі шасі MAN TGM 18.320 (рис. 1). Новий пожежний автомобіль має чотиридверну кабіну, розраховану на шістьох осіб.

Пожежна надбудова, придбана у відомого польського виробника. Її корпус виготовлено з комбінації сталі та алюмінію, що забезпечує високу міцність при одночасному зниженні ваги. Дах надбудови слугує робочою платформою з нековзною поверхнею, куди можна піднятися по сходах з кислотостійкої неіржавної сталі. Бічні відсіки для обладнання захищені від зовнішніх факторів металевими ролетами з замками [15].



Рисунок 1 – Пожежний автомобіль створений на шасі MAN TGM 18.320 [15]

Значну роль у забезпеченні експлуатаційної надійності відіграє формування оптимального структурно-фазового стану матеріалів під час виготовлення та ремонту пожежної техніки. Методи термічної обробки, поверхневого зміцнення, нанесення зносо- та корозійностійких покриттів дозволяють істотно підвищити опір контактній втомі, абразивному та адгезійному зношуванню. Сучасні технології інженерії поверхні широко застосовуються для збільшення ресурсу деталей машин [16-18].

Окрему увагу приділяють моніторингу технічного стану матеріалів у процесі експлуатації пожежних автомобілів, зокрема одного з найновіших – важкого аеропортного рятувально-

пожежного автомобіля Dragon 6x6 фірми IVECO Margius.

Використання методів неруйнівного контролю, аналізу продуктів зношування та цифрових діагностичних систем дозволяє виявляти початкові стадії деградації матеріалів і прогнозувати відмови конструкцій. У сучасних дослідженнях показано ефективність автоматизованого аналізу морфології частинок зношування для оцінювання механізмів пошкодження та стадій розвитку дефектів [19-26].

Таким чином, підвищення довговічності конструкцій пожежних автомобілів потребує комплексного матеріалознавчого підходу, який включає оптимізацію вибору матеріалів, удосконалення технологій їх обробки, впровадження сучасних методів технічної діагностики та врахування реальних умов експлуатації. Реалізація таких заходів сприяє підвищенню надійності, безпеки та ефективності функціонування пожежно-рятувальної техніки, а також зменшенню витрат на її обслуговування і ремонт.

**Список використаних джерел**

1. Попович В.В., Ренкас А.Г. Пожежні автомобілі (Частина 1). – Львів: Львівськийдержавний 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. Колесніков В.О. Автомобілі спеціального призначення. // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XII-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 квіт. 2024 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 149–152.
4. 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 нац. технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. С.43–46.
5. Жуков В.В., Колесніков В.О., Балицька В.О. Аварійно-рятувальні автомобілі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту. // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XII-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 квіт. 2024 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 110–113.
6. Балицька Валентина, Балицький Олександр, Колесніков Валерій. 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. https://doi.org/10.12958/ME-SPP-4-20.3.2025
7. 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: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.] – Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 42–47. ISBN 978-617-8163-47-1 (PDF).
8. Stachowiak, G.W.; Batchelor, A.W. Engineering Tribology, 4th ed.; Butterworth-Heinemann: Oxford, UK, 2016; ISBN 978-0-12-810031-8
9. Hutchings, I.; Shipway, P. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, 2nd ed.; Butterworth-Heinemann: Oxford, UK, 2017; ISBN 978-0-08-100910-9.
10. George E. Totten, Ed. ASM Handbook: Volume 18 – Friction, Lubrication and Wear Technology – 2017, ASM International, Materials Park, OH.
11. National Fire Protection Association (NFPA). NFPA 1911: Standard for the Inspection, Maintenance, Testing, and Retirement of In-Service Emergency Vehicles; NFPA: Quincy, MA, USA, 2016. Available online: https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-1911-standard-development/1911 (accessed on 24 March 2026).

12. Tomasi, I.; Grandi, S.; Donzella, G.; Solazzi, L. Implementation of Composite Materials for Lightweighting of Industrial Vehicle Chassis. J. Compos. Sci. 2025, 9, 611. https://doi.org/10.3390/jcs9110611

13. Khan, F.; Hossain, N.; Mim, J.J.; Rahman, S.M.; Iqbal, M.J.; Billah, M.; Chowdhury, M.A. Advances of Composite Materials in Automobile Applications—A Review. J. Eng. Res. 2025, 13, 1001–1023. https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017

14. Siengchin, S. A Review on Lightweight Materials for Defence Applications: Present and Future Developments. Defence Technol. 2023, 24, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.dt.2023.02.025

15. Мірошниченко Максим. Український виробник передав замовнику новий пожежний автомобіль на базі MAN TGM. Starter Media. URL: https://startermedia.com.ua/news/spetsialna-tekhnika/2025/08/07/ukrainskyy-vyrobnyk-vyhotovyv-novyy-pozhezhnyy-avtomobil-na-bazi-man-tgm/

16. Holmberg, K.; Matthews, A.; Ronkainen, H. Coatings Tribology-Contact Mechanisms and Surface Design. Tribol. Int. 1998, 31, 107-120. https://doi.org/10.1016/S0301-679X(98)00013-9

17. Bobzin, K. High-Performance Coatings for Cutting Tools. CIRP J. Manuf. Sci. Technol. 2017, 18, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2016.11.004

18. Deng, Y.G.; Di, H.S.; Misra, R.D.K. Microstructure and Mechanical Property Relationship in a High Strength High-Al Low-Si Hot-Dip Galvanized Steel under Quenching and Partitioning Process. J. Mater. Res. Technol. 2020, 9, 14401–14411. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.10.018

19. 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

20. Hong, W.; Cai, W.; Wang, S.; Tomovic, M.M. Mechanical Wear Debris Feature, Detection, and Diagnosis: A Review. Chin. J. Aeronaut. 2018, 31, 867–882. https://doi.org/10.1016/j.cja.2017.11.016

21. Balitskii, O.; Kolesnikov, V. Identification of Wear Products in the Automotive Tribotechnical System Using Computer Vision Methods, Artificial Intelligence and Big Data. In Proceedings of the 2019 XIth International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT), Lviv, Ukraine, 16–18 September 2019; pp. 24–27. https://doi.org/10.1109/ELIT.2019.8892275

22. 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.

23. Колесніков В.О., Балицький О.І., Гаврилюк М.Р., Балицька В.О., Іваськевич Л.М. Застосування методів комп'ютерного зору для контролю якості виробів енергомашинобудування. «Актуальні питання експертної та оціночної діяльності»: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Полтава, 26–27 вересня 2024 року). Харків: Вид-во Іванченка І. С., 2024. С. 127 – 132.

24. Савінова В. В., Колесніков В.О. Застосування методів комп'ютерного зору в автомобільній індустрії // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. – С. 113 -120.

25. Peng, H.; Zhang, H.; Shangguan, L.; Fan, Y. Review of Tribological Failure Analysis and Lubrication Technology Research of Wind Power Bearings. Polymers 2022, 14, 3041. https://doi.org/10.3390/polym14153041

26. Laghari, M.; Hassan, A.; Haggag, M.; Wahyudie, A.; Tayfor, M.; Elsayed, A. Comparison of Recognition Techniques to Classify Wear Particle Texture. Eng 2025, 6, 107. https://doi.org/10.3390/eng6060107

***Колесніков Валерій Олесандрович*** – кандидат техн. наук, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу ЛНУ ім. Тараса Шевченка (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

***Балицький Олександр Іванович*** – доктор техн. наук, провідний науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, Західнопоморський технологічний університет у Щеціні (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 70-310, Алея Піястів, 17, м. Щецин, Польща, ауд. 210. e-mail: alexanderbalitskii64@gmail.com).

***Балицька Валентина Олексіївна*** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та хімії горіння інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (79000, Львів, вул. Клепарівська, 35, ауд. 402, e-mail: v.balytska@ldubgd.edu.ua, vbalitska@yahoo.com).

***Хмель Ярослав*** – д-р інж., доктор техн. наук, доктор хабілітований, професор кафедри технологічних процесов, інженерно-економічний факультет транспорту, Політехника Морська в Щецині (вул. Вали Хроброго, 1–2, ауд. 206b, 70-500 Щецин, Польща, e-mail: j.chmiel@pm.szczecin.pl).

***Kolesnikov Valerii*** – Candidate of Technical Sciences, 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; Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Luhansk Taras Shevchenko National University (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 2 Viktora Novikova St., Lubny 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: kolesnikov197612@gmail.com)

***Balitskii Olexsander*** – Doctor of Technical Sciences, 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; Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, West Pomeranian University of Technology in Szczecin (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 17 Piastów Ave., room 210, 70-310 Szczecin, Poland; e-mail: alexanderbalitskii64@gmail.com).

***Balitska Valentina*** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Chemistry of Combustion, Institute of Fire and Technogenic Safety, Lviv State University of Life Safety (35 Kleparivska St., room 34, Lviv 79000, Ukraine); e-mail: v.balytska@ldubgd.edu.ua, vbalitska@yahoo.com).

***Jarosław Chmiel*** – dr hab. inż. prof. PM, Department of Technological Processes, Faculty of Economics and Transport Engineering, (1–2 Wały Chrobrego Street, room 206b, 70-500 Szczecin, Poland), e-mail: j.chmiel@pm.szczecin.pl).

УДК 629.3:621.3.01:620.9:378.147

**Колесніков В.О., Бурдун В.В.**

# СУЧАСНИЙ НАУКОВИЙ СТАН ТА ДЕЯКІ ПІДХОДИ ДЛЯ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ГІБРИДНІ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ»

*У роботі розглянуто сучасний науковий стан розвитку електричних, гібридних та водневих транспортних засобів у контексті глобального переходу до сталої енергетики. Проаналізовано ключові напрями досліджень, пов'язані з удосконаленням електроприводів, акумуляторних систем та інтегрованих енергетичних платформ транспортних засобів. Обґрунтовано необхідність розробки навчальної дисципліни «Гібридні та електричні транспортні засоби» на основі міждисциплінарного підходу, що поєднує знання з електротехніки, матеріалознавства та енергетики. Запропоновано модульну структуру курсу та визначено ключові освітні компоненти, спрямовані на формування професійних компетентностей у сфері сучасного транспорту. Окрему увагу приділено водневому транспорту як перспективному напряму мобільності, а також проблемам розвитку відповідної інфраструктури. Показано, що інтеграція сучасних наукових досягнень у навчальний процес сприяє підвищенню якості підготовки фахівців та відповідає актуальним тенденціям розвитку транспортних систем.*

***Ключові слова:*** *електричні транспортні засоби, гібридні автомобілі, водневий транспорт, паливні елементи, електромобільність, енергетична ефективність, навчальна дисципліна, транспортні системи, альтернативні джерела енергії, воднева інфраструктура, електромобіль, гібридний транспорт, водень.*

*The paper examines the current state of scientific research on the development of electric, hybrid, and hydrogen vehicles in the context of the global transition to sustainable energy. Key research directions related to the improvement of electric drives, battery systems, and integrated energy platforms of vehicles are analyzed. The necessity of developing the academic discipline "Hybrid and Electric Vehicles" based on an interdisciplinary approach that combines knowledge from electrical engineering, materials science, tribology, and energy engineering is substantiated. A modular structure of the course is proposed, and key educational components aimed at forming professional competencies in the field of modern transport are identified. Particular attention is paid to hydrogen transport as a promising direction of mobility, as well as to the challenges of developing the corresponding infrastructure. It is shown that the integration of modern scientific achievements into the educational process contributes to improving the quality of specialist training and corresponds to current trends in the development of transport systems.*

***Key words:*** *electric vehicles, hybrid vehicles, hydrogen transport, fuel cells, electromobility, energy efficiency, academic discipline, transport systems, alternative energy sources, hydrogen infrastructure, electric car, hybrid transport, hydrogen.*

У сучасних умовах глобального переходу до сталої енергетики транспортна галузь зазнає глибокої трансформації, що пов'язана з активним впровадженням електричних та гібридних транспортних засобів. Це обумовлено необхідністю зниження викидів парникових газів, підвищення енергоефективності та зменшення залежності від викопних палив. У науковій літературі останніх років відзначається інтенсивний розвиток технологій електроприводу, акумуляторних систем, а також інтегрованих енергетичних платформ транспортних засобів [1-7].

Сучасний науковий стан характеризується переходом від класичних двигунів внутрішнього згоряння до комплексних електрифікованих силових установок, що включають батарейні електромобілі (BEV), гібридні (HEV, PHEV) та паливно-елементні транспортні засоби (FCEV). Дослідження показують, що ключовими напрямами розвитку є підвищення енергетичної щільності акумуляторів, оптимізація систем керування енергією та інтеграція відновлюваних джерел енергії [2, 3, 8-10].

На рисунку 1 показано водневий автомобіль із системою паливних елементів (Fuel Cell), у якому водень використовується для генерації електроенергії. Такий транспорт характеризується високою екологічністю, оскільки єдиним продуктом роботи є водяна пара.




Рисунок 1 – Приклад водневого транспортного засобу
з паливно-елементною установкою [11]

Передумовами для розробки навчальної дисципліни «Гібридні та електричні транспортні засоби» є попередні напрацювання у галузі дисциплін пов'язаних з транспортом [12-24].

Розробка навчальної дисципліни «Гібридні та електричні транспортні засоби» повинна базуватися на міждисциплінарному підході, що поєднує знання з електротехніки, матеріалознавства, трибології, енергетики та автомобільного транспорту. Важливим є формування у здобувачів компетентностей щодо аналізу енергетичних процесів, діагностики технічного стану та оцінювання ефективності роботи транспортних систем.

Методично доцільно структурувати курс за модульним принципом, включаючи такі блоки:

– основи електромобільності;
– силові установки гібридних автомобілів;
– акумуляторні системи та їх деградація;
– електроприводи та системи керування;
– енергетична ефективність і екологічні аспекти;
– цифрові методи діагностики та моніторингу.

Особливу увагу слід приділяти використанню сучасних освітніх технологій: цифрових симуляторів, CAE-систем, віртуальних лабораторій та аналізу реальних експлуатаційних даних. Це дозволяє сформувати практичні навички, необхідні для роботи з сучасними транспортними системами.

Наукові підходи до побудови дисципліни також передбачають інтеграцію результатів сучасних досліджень у галузі матеріалознавства, зокрема щодо деградації матеріалів у електрифікованих транспортних системах, що є важливим для підвищення надійності та довговічності елементів конструкцій.

Також слід відзначити, що для впровадження та розвитку водневих технологій необхідно проводити розвиток водневої інфраструктури, включаючі мережу заправних станцій [25-30]. На рисунку 2 показано процес заправлення водневого автомобіля на спеціалізованій станції. Це ілюструє практичне застосування водневих технологій у сучасному екологічно чистому транспорті.



Рисунок 2 – Воднева заправна станція для автомобілів [11]

Важливим складовим елементом навчальної дисципліни є підрозділ «Водневий транспорт та водневі технології», який відображає найперспективніші напрямки сучасної мобільності, а також розвиток та впровадження водневих технологій. Водневі транспортні засоби, зокрема автомобілі на паливних елементах (FCEV), використовують водень як енергоносій для генерації електроенергії, забезпечуючи практично нульові викиди (побічним продуктом є водяна пара). Сучасні дослідження підтверджують їх високий потенціал у транспортних системах завдяки великому запасу ходу, швидкому заправленню та високій енергоефективності [31]. Оглядові роботи демонструють, що водень може застосовуватися як у паливних елементах, так і в двигунах внутрішнього згоряння, що розширює можливості його використання у транспорті [32]. Водночас наукові дослідження акцентують увагу на проблемах зберігання, інфраструктури та безпеки, що може бути відображено в освітньому курсі як окремий навчальний модуль [33].

Таким чином, розробка навчальної дисципліни «Гібридні та електричні транспортні засоби» є актуальним і необхідним кроком у підготовці сучасних фахівців транспортної галузі. Інтеграція новітніх наукових досягнень, зокрема у сфері електромобільності та водневих технологій, дозволяє забезпечити формування професійних компетентностей, орієнтованих на вирішення актуальних інженерних і екологічних задач. Запропонований підхід до структурування курсу сприяє підвищенню якості освітнього процесу та відповідає сучасним тенденціям розвитку транспортних систем і енергетики.

**Список використаних джерел**

1. Kurc, B.; Gross, X.; Szymlet, N.; Rymaniak, Ł.; Woźniak, K.; Pigłowska, M. Hydrogen-Powered Vehicles: A Paradigm Shift in Sustainable Transportation. Energies 2024, 17, 4768. https://doi.org/10.3390/en17194768
2. 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.
3. Колесніков В.О. 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 (магістер-

ського) рівня денної та заочної форм навчання спеціальності 015.38 «Професійна освіта» освітньо-професійної програми «Транспорт» / Держ. закл. «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». – Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. – 118 с. https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/10023

4. Колесніков В.О. Водневі автомобілі та водневий транспорт. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 153–156.

5. 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.

6. Р.С. Сидоренко, В.А. Ануфрієв, В.О. Колесніков. Нові технології в галузі автомобільного водневого транспорту. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 317-319. ISBN 978-966-641-950-0.

7. Бувалець М. Ю., Рулевська Т. Ф., Колесніков В. О. Стан впровадження водневих технологій на сучасному транспорті // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 31 - 36.

8. Pramuanjaroenkij, A.; Kakaç, S. The fuel cell electric vehicles: The highlight review. Int. J. Hydrogen Energy 2023, 48, 9401–9425. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.103

9. 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.

10. 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.

11. Артем Панченк. Досвід Toyota та перспективи. Опубліковано 2 Лип, 2025. Mashyna.com.ua. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: (дата звернення: 01.04.2026).

12. Бурдун В. В., Ревякіна О. О., Колеснікова Є. Б. Деякі приклади застосування інформаційних технологій в автомобільній галузі та освіті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: IX-та міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 30–34.

13. Бикадорова Н.О., Колесніков В.О., Бурдун В.В., Балицька В.О. Застосування комп'ютерного моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. конф., 23–25 жовт. 2023 р., м. Вінниця. Вінниця, 2023. С. 60–62.

14. В.В. Бурдун, Л.О. Васецька, О.О. Ревякіна, А.Ю. Рожкова. Комплексний підхід щодо викладання дисциплін пов'язаних з автомобільним транспортом. XVI Міжнар. наук-практ. конф. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Матеріали 23-25 жовтня 2023 року, Вінниця. 2023. С. 91-93.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

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

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. Кравцов О.В., Колесніков В.О. Сучасні стан і тенденція розвитку автомобільного транспорту // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції "Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів Європи та СНД" 26 травня. 2014 р. - С. 92 -100.

21. 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.

22. Колесніков В. О., Павлова Ю. В. Нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою в галузі автомобільного транспорту // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 95 - 99.

23. 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.

24. Рожкова А.Ю., Бурдун В.В., Ревякіна О.О., Бикадорова Н.О., Васецька Л.О. Застосування комп'ютерного забезпечення та моделювання для автономних транспортних засобів // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: XVI Міжнародна науково-практична конференція, 23–25 жовтня 2023 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 306–307. https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/10599

25. 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.

26. 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.

27. 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 міжнар. науково-практ. конф., 14–15 квіт. 2020 р.: матеріали. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – С. 31–45.

28. Балицький О. І., Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Іваськевич Л. М. Діагностика та розбудова водневої інфраструктури. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-та міжн. науково-практичн. конф., 16–18 квітня 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 37–40.

29. 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.

30. 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 жовт. 2023 р. , Вінниця. 2023. С. 179–181.

31. ScienceDirect Topics. Hydrogen fuel cell vehicle. Available online: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hydrogen-fuel-cell-vehicle.

32. Alreshidi, M.A.; Yadav, K.K.; Shoba, G.; Gacem, A.; Padmanabhan, S.; Ganesan, S.;

Guganathan, L.; Bhutto, J.K.; Saravanan, P.; Fallatah, A.M.; Abo El-Khair, M.A.; Almalawi, J.F.; Alam, M.W.; Kavitha, C.; Tamizhdurai, P.; Subramani, A. Hydrogen in transport: A review of opportunities, challenges, and sustainability concerns. RSC Adv. 2025, 15, 23874–23909. https://doi.org/10.1039/d5ra02918j

33. Bhuiyan, M.M.H.; Siddique, Z. Hydrogen as an alternative fuel: A comprehensive review of challenges and opportunities in production, storage, and transportation. Int. J. Hydrogen Energy 2025, 102, 1026–1044. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.01.033

***Колесніков Валерій Олександрович*** – кандидат техн. наук, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

***Бурдун Віктор Васильович*** – кандидат пед. наук, доцент, зав. каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: burdun_v_v@ukr.net).

***Kolesnikov Valerii*** – Candidate of Technical Sciences, 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; Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technology and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 2 Viktora Novikova St., Lubny 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

***Burdun Viktor*** – Candidate of Pedagogical Sciences (PhD in Education), Associate Professor, Head of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technology and Information Systems, Taras Shevchenko National University of Luhansk (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: (burdun_v_v@ukr.net)

УДК 007.52

**Корендій В.М., Качур О.Ю., Карпин Р.Б., Пилип М.В., Предко Р.Я.**

# ЗАГАЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА НАЗЕМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ НА ГУСЕНИЧНОМУ ШАСІ З МАНІПУЛЯТОРОМ ТИПУ SCARA

*Актуальність створення наземних роботизованих комплексів зумовлена потребою у безпечному виконанні робіт у небезпечних і важкодоступних зонах. У тезах узагальнено конструкцію гусеничної платформи з маніпулятором типу SCARA та наведено результати визначення його робочої зони. Новизна полягає в поєднанні конструктивного аналізу з експериментальною оцінкою вертикальних прискорень під час руху пересіченою місцевістю, що дає підстави для обґрунтованого розрахунку захватного пристрою.*

***Ключові слова:*** *наземний роботизований комплекс, гусеничне шасі, маніпулятор типу SCARA, робоча зона, експериментальна перевірка.*

*The relevance of ground robotic complexes is driven by the need to perform operations safely in hazardous and hard-to-reach areas. The paper summarizes the design of a tracked platform equipped with a SCARA-type manipulator and reports the estimated workspace of the gripper. The novelty lies in combining structural analysis with experimental evaluation of vertical accelerations during motion over rough terrain, which provides a basis for justified design of the gripping device.*

***Key words:*** *ground robotic complex, tracked chassis, SCARA-type manipulator, workspace, experimental verification.*

Наземні роботизовані комплекси дедалі активніше застосовують для робіт у середовищах, де безпосередня присутність людини пов’язана з підвищеним ризиком: на радіаційно, хімічно чи біологічно забруднених об’єктах, під час аварійно-рятувальних операцій, військових місій і гуманітарного розмінування [1–5]. Для таких умов робот повинен поєднувати високу прохідність, стійкість під час руху нерівною місцевістю, здатність нести маніпулятор і достатню точність позиціювання робочого органа. Саме тому актуальним є створення компактних наземних платформ на гусеничному шасі, які можуть виконувати транспортно-технологічні операції без втрати керованості та функціональності.

Досліджений комплекс (рис. 1) реалізує поєднання трьох функціональних підсистем: мобільної гусеничної платформи, електронного блока керування та маніпулятора типу SCARA [1]. Така компоновка є конструктивно доцільною для робіт із циліндричними об’єктами невеликої маси, оскільки SCARA-механізм забезпечує швидке переміщення захвату в горизонтальній площині, а гусеничне шасі – проходження пересіченої місцевості й можливість підведення робочого органа безпосередньо до об’єкта. Базою комплексу є платформа з двома бортовими рушіями (рис. 2). На установчій плиті закріплено маніпулятор та електронний блок, а сама плита підвішена до гусеничних модулів через гумові або поліуретанові демпфери, завдяки чому зменшуються ударні впливи на несучу систему під час руху нерівностями.

Передні колеса виконані веденими та забезпечують регулювання натягу гусениць, а задні приводяться в рух від мотор-редукторів через ланцюгові передачі. Для стабілізації положення гусениць і підтримання натягу під час подолання перешкод застосовано додаткові V-подібні важільні механізми [1]. Кожний бортовий привод оснащено електродвигуном потужністю 100 Вт при напрузі 24 В, з передаточним числом редуктора 20 і номінальною вихідною частотою обертання 150 об/хв; передаточне число ланцюгової передачі становить 1,5 [1]. За таких параметрів платформа здатна розвивати швидкість близько 8-10 км/год, долати перешкоди висотою до 0,3 м і працювати автономно не менше 2 годин залежно від режиму навантаження. Отже, запропоноване шасі орієнтоване не лише на лабораторне відпрацювання алгоритмів керування, а й на виконання прикладних польових задач.

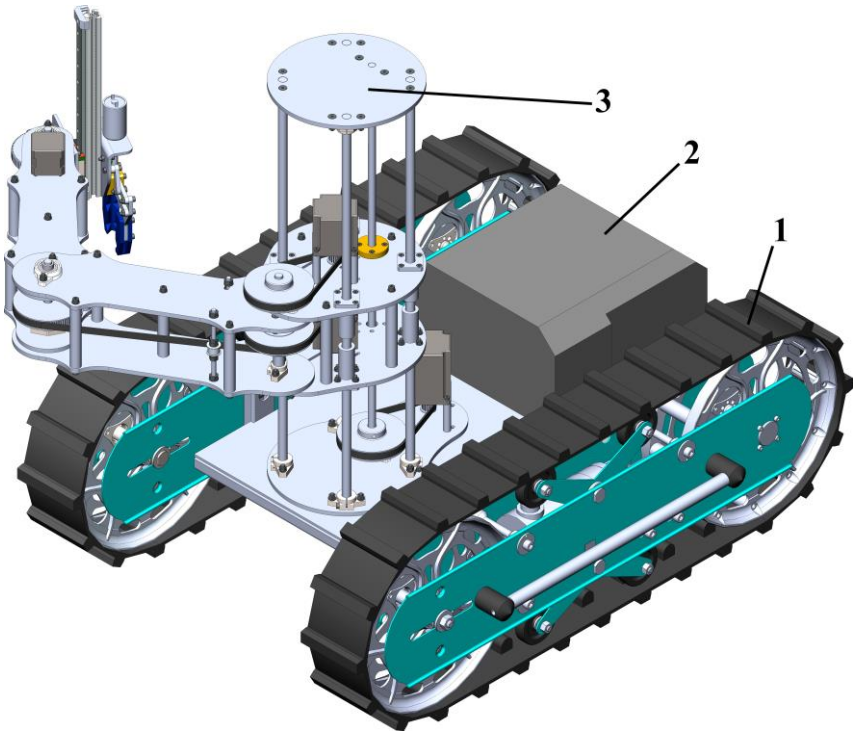



Рисунок 1 – Загальний вигляд наземного роботизованого комплексу

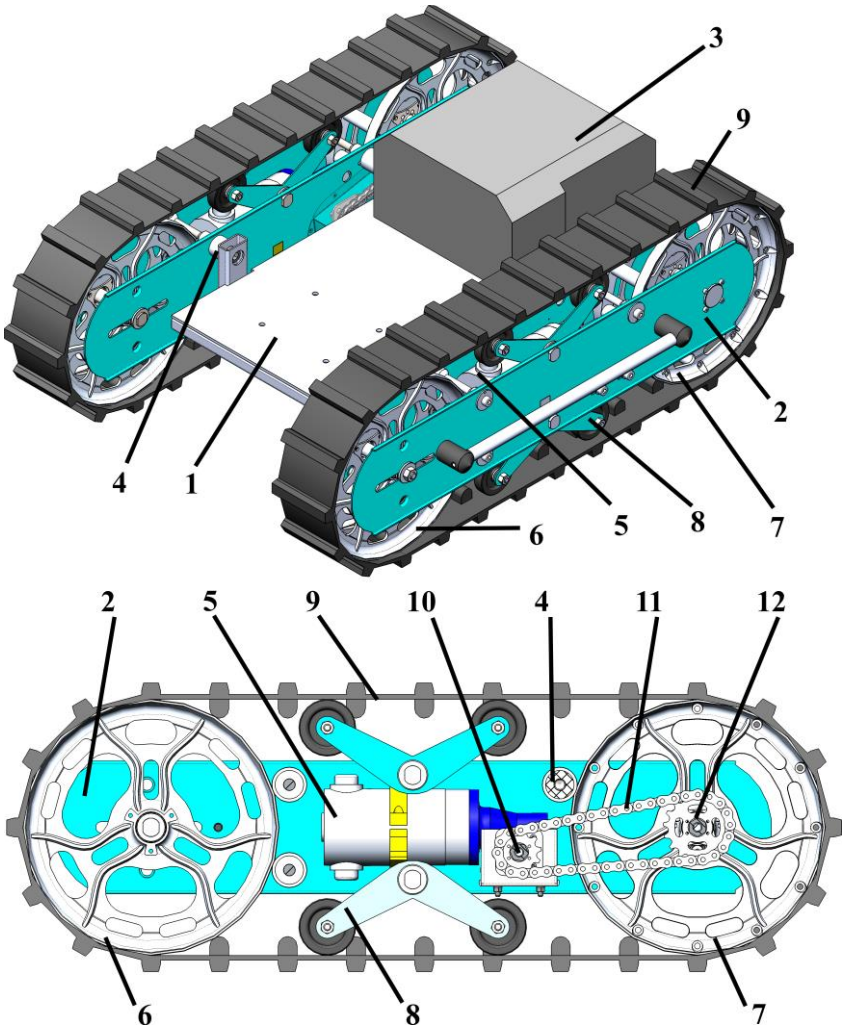



Рисунок 2 – Конструкція гусеничної платформи

Маніпулятор типу SCARA (рис. 3) встановлено на окремій плиті платформи. Його вертикальне переміщення забезпечується гвинтовою парою з пасовою передачею від електродвигуна. На рухомій платформі розташовані приводи повороту першої та другої ланок, що передають момент через зубчасті пасові передачі. Поворот захватного вузла реалізовано за допомогою зубчастого сектора, а локальне коригування вертикального положення захвату – вздовж напрямної з окремим приводом. Така структура дає змогу розділити грубе позиціювання по висоті, переміщення в горизонтальній площині та високоточне орієнтування захвату відносно поверхні об'єкта [1]. Маніпулятор розраховано на утримання та перенесення циліндричних деталей масою близько 1 кг.

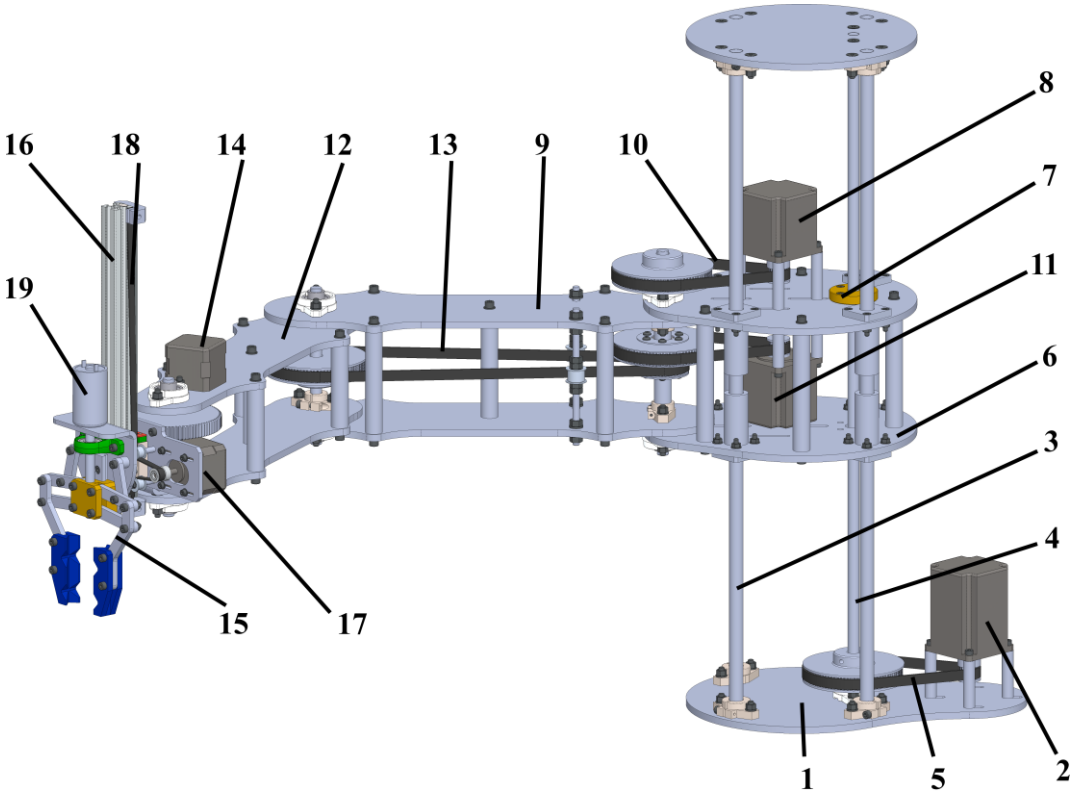



Рисунок 3 – Конструкція маніпулятора типу SCARA

Кінематично маніпулятор має п'ять ступенів вільності: два поступальні переміщення і три обертальні пари. Для його геометрії прийнято такі основні розміри: 120 мм для базової стійки та 300, 300 і 87 мм для послідовних ланок механізму [1]. Аналітичний опис положення захвату, побудований через узагальнені координати, було зіставлено з твердотільним моделюванням у SolidWorks та розрахунками в MathCad. За результатами моделювання максимальне переміщення захвату вздовж осі *Ox* становить приблизно 1300 мм, а вздовж осі *Oy* – близько 840 мм; верхня межа його вертикального положення сягає близько +300 мм відносно плити кріплення, а нижня – приблизно –200 мм [1]. Практично важливо, що аналітично отримані параметри добре узгоджуються з результатами комп'ютерного моделювання, а це підтверджує коректність прийнятої кінематичної схеми.

Поєднання гусеничного шасі з SCARA-маніпулятором є вдалим компромісом між прохідністю та точністю. Порівняно зі складнішими багатоланковими маніпуляторами, SCARA-схема має простішу кінематику, меншу масу рухомих ланок і кращу повторюваність у площинних операціях, що зменшує вимоги до системи керування. Водночас гусеничний рушій забезпечує більшу площу контакту з опорною поверхнею та підвищену стійкість на м'яких або нерівних ґрунтах, що є критичним під час виконання завдань поблизу потенційно небезпечних об'єктів [2, 4, 5].

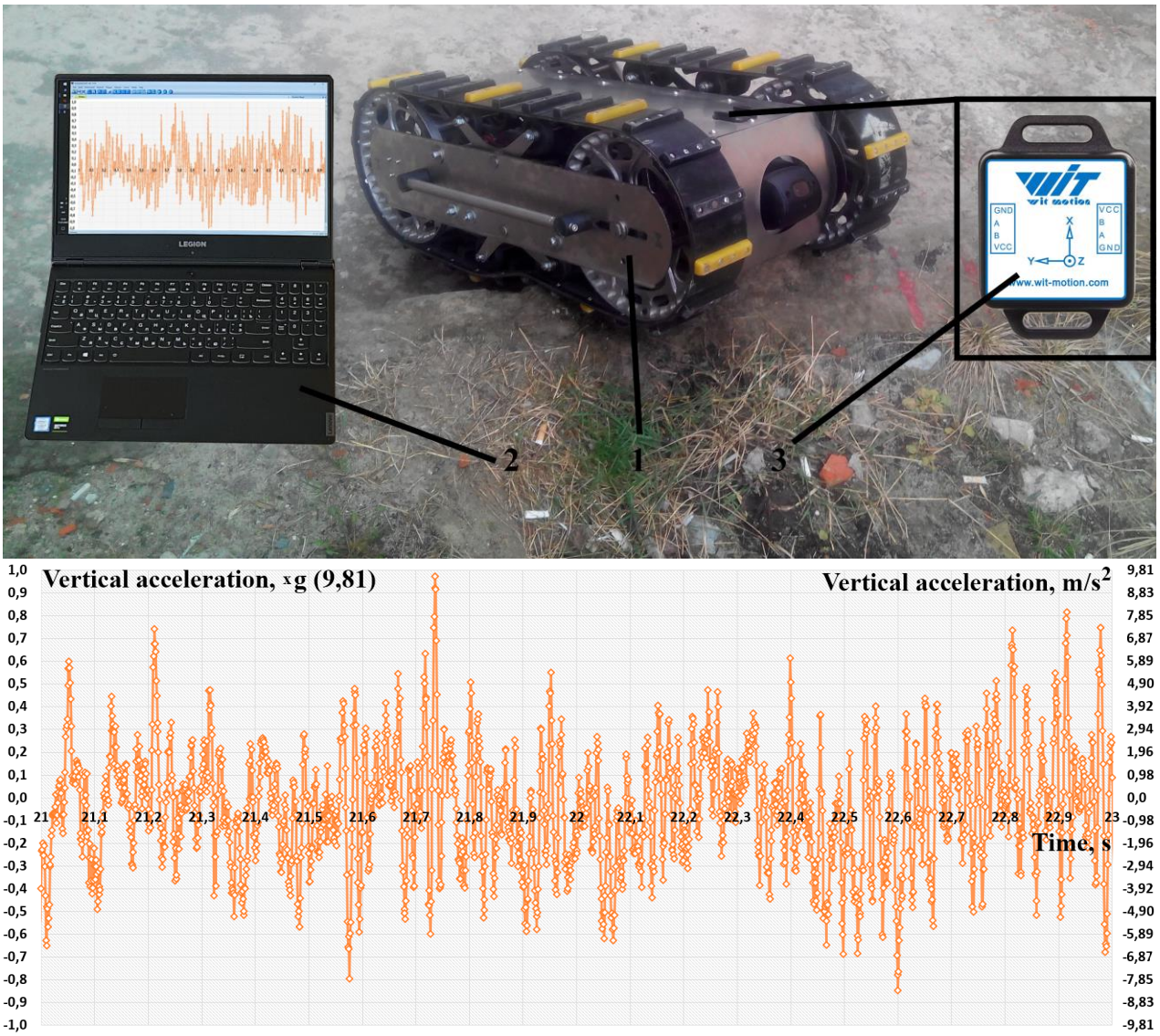



Рисунок 4 – Експериментальне обладнання та отримані результати

Для підтвердження працездатності платформи було виготовлено повномасштабний лабораторний прототип (рис. 4) і проведено випробування під час руху пересіченою місцевістю зі швидкістю близько 8 км/год [1]. Вертикальні прискорення корпуса в зоні кріплення маніпулятора реєстрували за допомогою датчика WitMotion BWT901CL. Саме в цій точці формуються інерційні навантаження, що безпосередньо передаються на ланки маніпулятора і захватний пристрій. Отримані з датчика дані передавалися на ноутбук через Bluetooth, а подальше опрацювання виконувалося у MathCad.

Часова залежність вертикального прискорення (рис. 4) показала, що під час руху нерівним рельєфом корпус зазнає суттєвих коливальних впливів: максимальне прискорення в додатному напрямку досягало 1g, а у від'ємному – 0,85g [1]. Це означає, що під час транспортування об'єкта масою до 1 кг у захваті виникають динамічні перевантаження, які практично подвоюють розрахункове вертикальне навантаження на робочий орган. Відповідно, під час проєктування захвату доцільно закладати силу утримання щонайменше на рівні 20 Н, а також передбачати запас жорсткості та міцності для шарнірів і приводів.

Отримані експериментальні дані задають вихідні параметри для вдосконалення системи керування, підвіски, рушія та методики розрахунку маніпулятора в реальних умовах експлуатації. З практичної точки зору це означає необхідність поєднання двох режимів: низькошвидкісного точного позиціювання захвату поблизу об'єкта та руху платформи пересіченою

місцевістю з урахуванням збурень від нерівностей. Тому подальший розвиток комплексу доцільно пов'язувати з математичним моделюванням підвіски, оцінюванням сил у трансмісії та синтезом законів керування, які компенсують коливальні впливи на маніпулятор.

**Список використаних джерел**

1. Korendiy V., Kachur O., Boikiv M., Novitskyi Yu., Yaniv O. Analysis of kinematic characteristics of a mobile caterpillar robot with a SCARA-type manipulator. *Transport technologies*. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 56-67. DOI: 10.23939/tt2023.02.056.

2. Bruzzone L., Nodehi S. E., Fanghella P. Tracked locomotion systems for ground mobile robots: A review. *Machines*. 2022. Vol. 10, No. 8. Art. 648. DOI: 10.3390/machines10080648.

3. Qin H., Shao S., Wang T., Yu X., Jiang Y., Cao Z. Review of autonomous path planning algorithms for mobile robots. *Drones*. 2023. Vol. 7, No. 3. Art. 211. DOI: 10.3390/drones7030211.

4. Petrişor S. M., Simion M., Bârsan G., Hancu O. Humanitarian Demining Serial-Tracked Robot: Design and Dynamic Modeling. *Machines*. 2023. Vol. 11, No. 5. Art. 548. DOI: 10.3390/machines11050548.

5. Ugenti A., Galati R., Mantriota G., Reina G. Analysis of an all-terrain tracked robot with innovative suspension system. *Mechanism and Machine Theory*. 2023. Vol. 182. Art. 105237. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2023.105237.

***Корендій Віталій Михайлович*** – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри технічної механіки та інженерної графіки Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 304, e-mail: vitalii.m.korendii@lpnu.ua).

***Качур Олександр Юрійович*** – доктор філософії, доцент кафедри технічної механіки та інженерної графіки Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 305, e-mail: oleksandr.y.kachur@lpnu.ua).

***Карпин Роман Богданович*** – аспірант кафедри прикладної математики Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Митрополита Андрея, 5, ауд. 213, e-mail: roman.b.karpyn@lpnu.ua).

***Пилип Михайло Васильович*** – аспірант кафедри технічної механіки та інженерної графіки Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 304, e-mail: mykhailo.v.pylyp@lpnu.ua).

***Предко Ростислав Ярославович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічної механіки та інженерної графіки Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 305, e-mail: rostyslav.y.predko@lpnu.ua).

***Vitaliy Korendiy*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Head of the Department of technical mechanics and engineering graphics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, S. Bandera Street, 12, room 304, e-mail: vitalii.m.korendii@lpnu.ua).

***Oleksandr Kachur*** – Ph. D in Eng., Associate Professor of the Department of technical mechanics and engineering graphics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, S. Bandera Street, 12, room 305, e-mail: oleksandr.y.kachur@lpnu.ua).

***Roman Karpyn*** – Postgraduate student of the Department of applied mathematics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, Mytropolyt Andrey Street, 5, room 213, e-mail: roman.b.karpyn@lpnu.ua).

***Mykhailo Pylyp*** – Postgraduate student of the Department of technical mechanics and engineering graphics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, S. Bandera Street, 12, room 305, e-mail: mykhailo.v.pylyp@lpnu.ua).

***Rostyslav Predko*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of technical mechanics and engineering graphics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, S. Bandera Street, 12, room 305, e-mail: rostyslav.y.predko@lpnu.ua).

УДК 691.175

**Корендій В.М., Федунишин Н.М., Пасіка В.Р., Угрин Л.С., Похмурська А.В.**

# КІНЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДВОКООРДИНАТНОГО МЕХАНІЗМУ ОДНОРУЧНОГО КЕРУВАННЯ ПЕДАЛЯМИ АКСЕЛЕРАТОРА, ЗЧЕПЛЕННЯ І ГАЛЬМА АВТОМОБІЛЯ

*Актуальність роботи зумовлена потребою адаптації керування автомобілем для водіїв з обмеженою рухливістю нижніх кінцівок. На основі патентного аналізу та методів теорії механізмів і машин обґрунтовано двокоординатний механізм одноручного керування акселератором, зчепленням і гальмом. Показано, що за формальної рухомості W = 5 функціональна рухомість дорівнює 2. Отримані аналітичні залежності та числове моделювання підтвердили працездатність запропонованої схеми.*

***Ключові слова:*** *ручне керування автомобілем, багатоланковий механізм, педалі акселератора, зчеплення і гальма, структурний синтез, кінематичний аналіз.*

*The paper addresses vehicle-control adaptation for drivers with limited lower-limb mobility. Based on patent review and classical mechanisms-and-machines methods, a two-coordinate mechanism for one-handed control of the accelerator, clutch and brake pedals is substantiated. It is shown that, although the formal mobility is W = 5, the functional mobility equals 2. Analytical dependences and numerical simulation confirm the operability of the proposed scheme.*

***Key words:*** *manual vehicle control, multi-link mechanism, accelerator, clutch and brake pedals, structural synthesis, kinematic analysis.*

Забезпечення доступності керування транспортними засобами для осіб із порушеннями функцій нижніх кінцівок належить до актуальних інженерних і соціальних завдань. Більшість відомих систем ручного керування орієнтовано лише на педалі акселератора та гальма, що фактично обмежує сферу їх використання автомобілями з автоматичною трансмісією або електроприводом [1–4]. Для транспортних засобів із механічною коробкою передач виникає додаткова проблема узгодженого керування педаллю зчеплення. Окремі рішення, здатні взаємодіяти з трьома педалями, ускладнюють процес водіння через потребу використання обох рук, що негативно впливає на безпеку руху та ергономіку робочого місця водія. Тому розроблення компактного одноручного механізму, який забезпечує керування педалями акселератора, гальма і зчеплення, є технічно та практично важливим.

Мета роботи полягає в кінематичному обґрунтуванні двокоординатного механізму одноручного керування педалями акселератора, зчеплення і гальма автомобіля та у встановленні аналітичних залежностей між керувальними діями водія і параметрами руху педалей. Для досягнення поставленої мети використано патентний аналіз сучасних технічних рішень, структурний синтез просторового багатоланкового механізму та класичні положення теорії механізмів і машин щодо визначення рухомості, побудови замкнених векторних контурів і подальшого кінематичного моделювання [1, 5]. На відміну від традиційних схем, запропонований підхід передбачає функціональне розділення двох керувальних координат: поздовжнього нахилу руків’я для узгодженої роботи акселератора і зчеплення та вертикального переміщення повзуна для керування гальмом.

Синтезована схема механізму (рис. 1) містить вісім рухомих ланок, п’ять однорухомих кінематичних пар п’ятого класу та шість сферичних кінематичних пар третього класу. Це означає, що загальний ступінь рухомості дорівнює:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 = 5.$$

Однак три ступені рухомості відповідають вільним проворотам проміжних тяг навколо їх поздовжніх осей і не визначають керувальної дії на педалі. Отже, реальна функціональна

рухомість механізму дорівнює двом, що й дозволяє розглядати його як двокоординатний. Узагальненими координатами є $q_1 = \varphi_1$ – кут нахилу руків'я, та $q_2 = l_{O_1B_3}$ – переміщення повзуна вздовж напрямної. Така постановка забезпечує чітке розділення режимів керування та спрощує параметричний синтез механізму для різних компонувальних схем автомобіля.

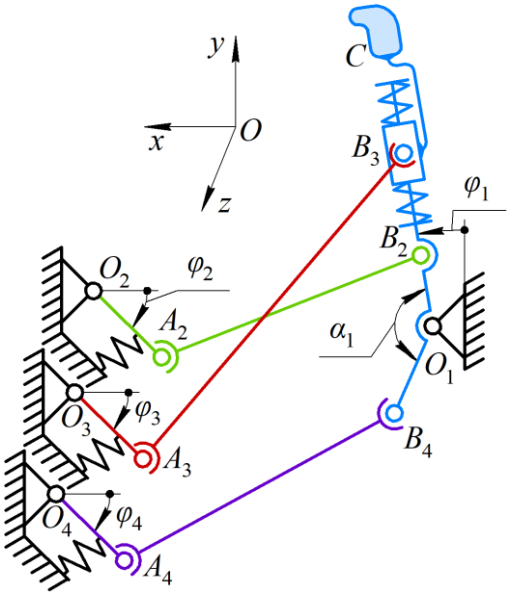



Рисунок 1 – Запропонована кінематична схема двокоординатного механізму одноручного керування педалями акселератора, зчеплення і гальма автомобіля

Для характерних шарнірів $B_2$, $B_3$, $B_4$ одержано аналітичні залежності координат від кута $\varphi_1$ та поточного положення повзуна. Координати точок $A_2$, $A_3$, $A_4$, через які тяги з'єднуються з педалями, визначаються із систем рівнянь замкнених векторних контурів для кожного окремого кінематичного ланцюга. Кути повороту педалей обчислюються за координатами опорних і приєднувальних шарнірів. Таким чином, сформовано повну математичну модель, яка дає змогу переходити від керувальних параметрів руків'я до геометричних і кутових параметрів робочих органів механізму. Числове моделювання виконано в середовищі Wolfram Mathematica (рис. 2), а конструктивну інтерпретацію схеми подано у вигляді тривимірної моделі (рис. 3), що підтверджує технологічну реалізовність запропонованого рішення [1].

Результати моделювання показали, що за зміни кута нахилу руків'я в межах $\varphi_1 = -30° \ldots + 30°$педаль акселератора змінює кут нахилу приблизно від 24° до 64°, тоді як педаль зчеплення рухається у протифазі – від 64° до 24° [1]. Отже, переміщення руків'я вперед супроводжується натисканням акселератора та плавним відпусканням зчеплення, а відведення руків'я на себе – увімкненням зчеплення з одночасним скиданням подачі палива. Такий характер руху відповідає логіці рушання та перемикання передач у транспортному засобі з механічною коробкою передач. Діапазон зміни кутів обох педалей становить близько 40°, що є достатнім для реалізації основних режимів керування у вибраному геометричному прикладі.

Окремий інтерес становить робота гальмівної педалі. У нейтральному стані гальма положення повзуна вздовж руків'я змінюється приблизно від 110 до 420 мм залежно від кута $\varphi_1$ [1]. Це означає, що під час рухів руків'я вперед-назад повзун вільно компенсує зміну просторового положення керуючого вузла й практично не навантажує гальмівний контур. Безпосереднє гальмування реалізується вертикальним переміщенням руків'я: зі зміною координати повзуна від близько +110 до –120 мм кут гальмівної педалі змінюється приблизно в межах 24°...64° [1]. Така кінематична розв'язка є принципово важливою, оскільки уможливлює незалежне поєднання функцій розгону, перемикання передач та уповільнення без конфлікту траєкторій і без небажаного взаємовпливу між педалями.

З конструктивної точки зору механізм складається з руків'я, установленого на повзуні,

коромисла, системи тяг і штовхачів, пружних елементів та вузла фіксації кутового положення. Під час натискання руків'я вперед активується акселератор при одночасному відпусканні зчеплення. Для перемикання передач руків'я відводять на себе, що забезпечує вмикання зчеплення та зменшення подачі палива. Легке натискання руків'я вниз реалізує часткове уповільнення, а поєднання руху на себе і вниз забезпечує інтенсивне гальмування із задіянням зчеплення та гальма [1]. Передбачене фіксування кутового положення руків'я створює передумови для безпечного перемикання передач і знижує м'язове навантаження на водія під час виконання тривалих маневрів.

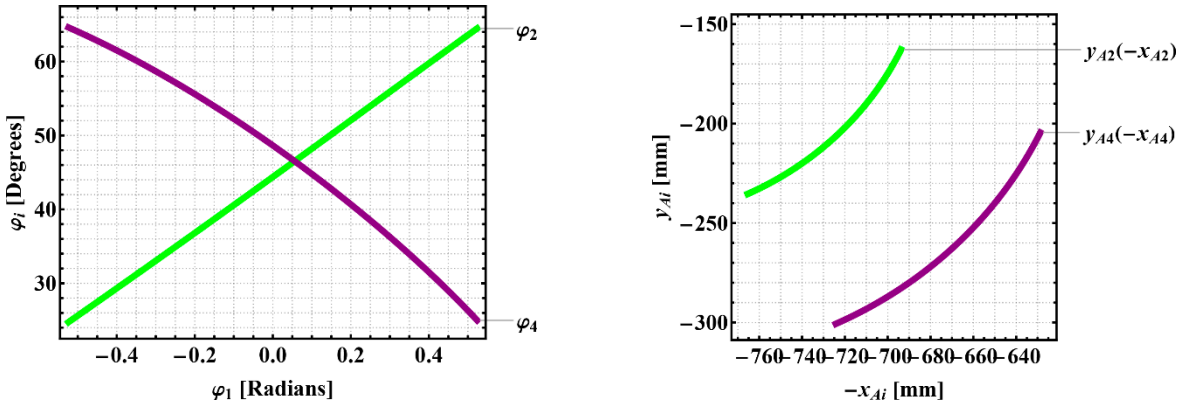



Рисунок 2 – Результати чисельного моделювання кінематичних характеристик досліджуваного механізму в системі Wolfram Mathematica

Наукова новизна роботи полягає в кінематичному обґрунтуванні двокоординатної структури багатоланкового механізму одноручного керування трьома педалями автомобіля та в одержанні аналітичних залежностей між узагальненими координатами руків'я і параметрами руху педалей. Практичне значення дослідження полягає у можливості адаптації механізму до різних моделей транспортних засобів шляхом цілеспрямованого вибору довжин ланок, положень опорних шарнірів і меж зміни керувальних координат. Наступними етапами дослідження доцільно вважати силовий та ерготехнічний аналіз, оптимізацію геометричних параметрів з урахуванням компоновки конкретного автомобіля, а також виготовлення та випробування експериментального зразка. Реалізація цих етапів створить підґрунтя для практичного впровадження надійних і доступних систем ручного керування транспортними засобами для водіїв з обмеженою рухливістю нижніх кінцівок.

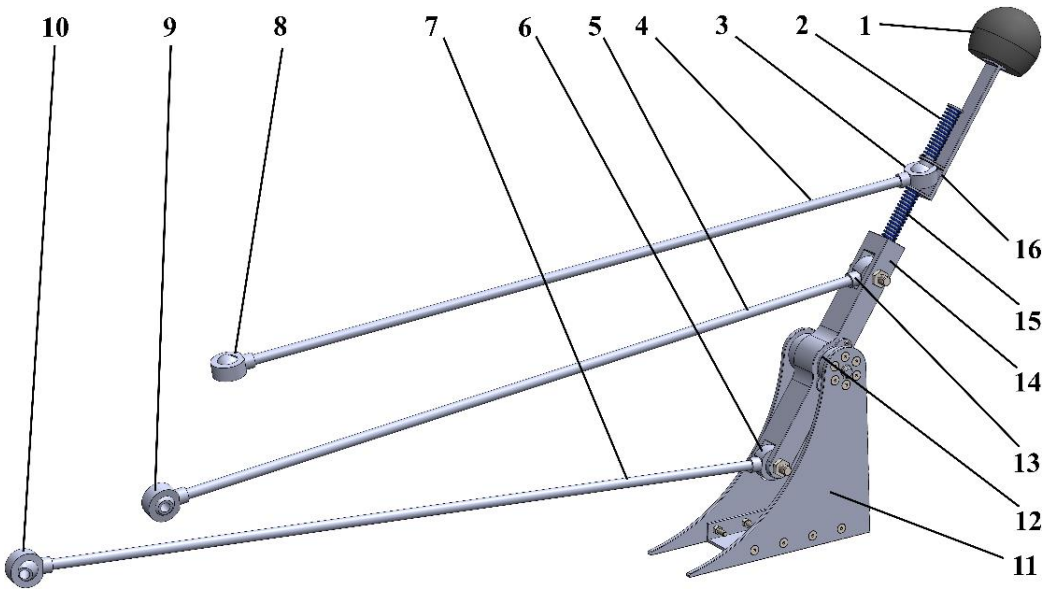



Рисунок 3 – Запропоноване конструктивне виконання механізму

**Список використаних джерел**

1. Korendiy V., Fedunyshyn N., Kozub V. Justifying the structure of the improved mechanism for manual control of motor vehicles' pedals. *Transport Technologies*. 2024. Vol. 5, no. 2. P. 75–87. DOI: 10.23939/tt2024.02.075.

2. Nolan K. P., Wong V., Knight C. T. *System for actuating vehicle brake and accelerator pedals by hand* : patent US 11,815,930 B1. United States. 2023.

3. Knon B. *Operating device of a motor vehicle for the manual operation of an accelerator pedal and a brake pedal* : patent DE 10 2015 213 131 A1. Germany. 2017.

4. Nosenzo F., Nosenzo A. *Device for the manual control of the accelerator and brake of a motor vehicle* : patent GB 2571373 B. United Kingdom. 2020.

5. Korendiy V., Zinko R., Cherevko Y. Structural and kinematic analysis of pantograph-type manipulator with three degrees of freedom. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. 2019. Vol. 5, no. 2. P. 68–82. DOI: 10.23939/ujmems2019.02.068.

***Корендій Віталій Михайлович*** – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри технічної механіки та інженерної графіки Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 304, e-mail: vitalii.m.korendii@lpnu.ua).

***Федунишин Назарій Миколайович*** – аспірант кафедри технічної механіки та інженерної графіки Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 304, e-mail: nazarii.fedunyshyn.asp.2025@lpnu.ua).

***Пасіка В'ячеслав Романович*** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри технічної механіки та інженерної графіки Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 305, e-mail: viacheslav.r.pasika@lpnu.ua).

***Угрин Любомир Степанович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічної механіки та інженерної графіки Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 305, e-mail: liubomyr.s.uhryn@lpnu.ua).

***Похмурська Анна Володимирівна*** – канд. техн. наук, асистент кафедри технічної механіки та інженерної графіки Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, ауд. 305, e-mail: anna.v.pokhmurska@lpnu.ua).

***Vitaliy Korendiy*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Head of the Department of technical mechanics and engineering graphics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, S. Bandera Street, 12, room 304, e-mail: vitalii.m.korendii@lpnu.ua).

***Nazarii Fedunyshyn*** – Postgraduate student of the Department of technical mechanics and engineering graphics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, S. Bandera Street, 12, room 304, e-mail: nazarii.fedunyshyn.asp.2025@lpnu.ua).

***Viacheslav Pasika*** – Doctor of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Professor, Professor of the Department of technical mechanics and engineering graphics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, S. Bandera Street, 12, room 305, e-mail: viacheslav.r.pasika@lpnu.ua).

***Liubomyr Uhryn*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of technical mechanics and engineering graphics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, S. Bandera Street, 12, room 305, e-mail: liubomyr.s.uhryn@lpnu.ua).

***Anna Pokhmurska*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Assistant of the Department of technical mechanics and engineering graphics of Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, S. Bandera Street, 12, room 305, e-mail: anna.v.pokhmurska@lpnu.ua).

УДК 656.2

**Коробко А.І., Семенов І.В.**

# ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ У ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

*Встановлено, що для сільськогосподарських перевезень ефективність транспортного процесу має розглядатися не лише як результат логістичної організації чи інтенсивності вантажопотоку, а й як наслідок здатності АТЗ зберігати функціональну стабільність за умов польової експлуатації.*

***Ключові слова:*** *процес перевезень, функціональна стабільність, умови експлуатації, вантажний автомобіль, складні умови.*

*It has been established that for agricultural transportation, the efficiency of the transport process should be considered not only as a result of the logistical organization or the intensity of the cargo flow, but also as a consequence of the ability of the ATV to maintain functional stability under field operation conditions.*

***Keywords:*** *transportation process, functional stability, operating conditions, truck, difficult conditions.*

Проблема функціональної стабільності автотранспортних засобів (АТЗ) в сільськогосподарському виробництві набуває особливо високої практичної та наукової значущості. На відміну від більшості традиційних вантажних перевезень, транспортне забезпечення аграрного виробництва здійснюється в умовах жорстко обмежених часових вікон, сезонної концентрації робіт, високої залежності від погодних факторів та необхідності синхронізації транспортних операцій зі збиральними, вантажними та післяприбиральними процесами. У таких умовах навіть незначне зниження працездатності транспортного засобу або відхилення його експлуатаційних параметрів може призвести не лише до локального зростання витрат, а й до порушення ритму технологічного циклу, втрат урожаю, зниження якості продукції та зменшення загальної ефективності перевізного процесу.

Це особливо виразно простежується у роботі K. Lamsal, P. C. Jones та B. W. Thomas [1], що присвячена логістиці збирання врожаю в аграрних системах з кількома незалежними виробниками та відсутністю зберігання безпосередньо на фермі. Автори показують, що ефективність збирально-транспортної системи визначається не тільки наявністю транспортних ресурсів, а й узгодженістю в часі між моментом збирання продукції, її навантаженням, вивезенням та доставкою до місця проміжного або остаточного зберігання. Фактично йдеться про систему, де транспортна ланка працює в умовах високої чутливості до затримок, а стійкість процесу перевезень залежить від здатності транспортних засобів виконувати операції без збоїв, простоїв та втрати продуктивності. Для сільського господарства це важливо, оскільки транспорт тут не є допоміжною функцією в звичайному сенсі, а виступає невід'ємною частиною технологічного ланцюга виробництва.

Подібну логіку підтверджує і робота [2], в якій розглядається модель узгодження транспортних потоків під час перевезення зерна АТЗ з поля до пункту тимчасового зберігання. У цьому дослідженні увага зосереджена на упорядкуванні транспортних потоків, узгодженні інтенсивності вивезення продукції і на мінімізації втрат часу, що особливо актуально під час масового прибирання. Однак сама постановка завдання показує, що ефективність транспортного процесу в аграрній сфері визначається не тільки логістичним розподілом потоків, а й тим, наскільки транспортний засіб здатний стійко працювати в реальних польових умовах, де ритм перевезень задається не абстрактним графіком, а фактичною інтенсивністю прибирання, погодою, станом під'їздів та можливостями техніки.

Саме у сільському господарстві стає особливо очевидним, що умови експлуатації АТЗ суттєво відрізняються від стандартних дорожніх перевезень. Переміщення продукції часто здійснюється за польовими дорогами, розмоклими ґрунтами, колійними ділянками, перезволоженими покриттями, нерівним рельєфом, ділянками з високою запиленістю, залишками рослинної маси і змінною несучою здатністю ґрунту. На транспортний засіб впливають як стандартні дорожні навантаження, так і додаткові чинники, що призводять до прискореного зносу і зниження стабільність функціонування його систем. Зростає навантаження на трансмісію, підвіску, кермо, гальмівні механізми, ходову частину, силовий агрегат та елементи зчіпного пристрою. Крім того, робота в режимі частих зупинок, маневрування, руху зі змінним навантаженням та виїзду з поля на дороги загального користування створює нестаціонарні режими експлуатації, за яких вимоги до функціональної стабільності АТЗ суттєво зростають.

Особливо показова в цьому відношенні робота [3] у якій розроблено та експериментально перевірено систему безпілотного керування гусеничним зерновозом. Незважаючи на технологічну спрямованість дослідження, воно демонструє важливий: навіть за впровадження сучасних інтелектуальних систем ключовим обмеженням ефективності залишаються реальні умови польової експлуатації – нерівності, складність траєкторій, особливості зчеплення з поверхнею, стійкість руху та здатність транспортного засобу зберігати керованість та робочу придатність. Іншими словами, вдосконалення управління саме по собі не усуває проблему, якщо транспортний засіб не має достатньої функціональної стабільності до перемінних зовнішніх впливів.

З погляду ширшого транспортно-логістичного контексту важливою є й робота [4], яка присвячена аналізуванню ефективності існуючих транспортно-технічних ліній транспортування зернових в Україні. В означеному дослідженні ефективність перевезень розглядається через організацію логістичних ланцюгів, структуру маршрутів, пропускну спроможність транспортних каналів та загальну результативність доставки аграрної продукції. Однак для сільськогосподарських перевезень подібні оцінки особливо потребують доповнення показниками, що відображають внутрішній стан та експлуатаційну стійкість транспортних засобів, оскільки саме в аграрному середовищі транспортна робота виконується в умовах, де відхилення технічних параметрів АТЗ безпосередньо трансформуються у втрати часу та ефективності на рівні всього логістичного ланцюга.

Суттєве значення для розуміння зазначеної вище проблеми має і робота [5], в якій аналізується вплив погодних подій на вантажний автомобільний трафік. Хоча дослідження виконано на більш загальному рівні, його результати мають пряме значення для аграрних перевезень, оскільки у сільському господарстві погодний чинник діє особливо гостро і багатопланово. Опади, перезволоження ґрунту, зміна температури, вологості та стану покриття не лише ускладнюють рух, а й різко змінюють експлуатаційне середовище транспортного засобу. В результаті погіршується прохідність, зростає буксування, збільшуються тягові навантаження, посилюються віброударні дії, підвищується витрата палива та прискорюється знос вузлів та агрегатів. Для перевезення сільськогосподарської продукції це особливо критично, оскільки погодні впливи часто збігаються в часі з найнапруженішими фазами польових робіт, коли транспортна система вже працює на межі своїх можливостей.

Таким чином, аналіз представлених робіт дозволяє зробити принципово важливий висновок: у сільському господарстві функціональна стабільність АТЗ одна із ключових умов забезпечення ефективності транспортних перевезень. Це пояснюється поєднанням трьох чинників. По-перше, перевезення сільськогосподарської продукції здійснюються в умовах стислих термінів виконання робіт, коли порушення навіть одного транспортного циклу може спричинити ланцюгову дестабілізацію всього жнивно-транспортного процесу. По-друге, транспортні засоби працюють у складних польових умовах, що суттєво відрізняються від стандартної дорожньої експлуатації та створюють підвищене навантаження на вузли і механізми АТЗ. По-третє, зовнішні впливи в аграрному середовищі безпосередньо відбиваються на технічному стані АТЗ, а через нього – на його здатності зберігати продуктивність, прохідність, надійність, економію палива і стійкість експлуатаційних параметрів.

Отже, для сільськогосподарських перевезень ефективність транспортного процесу має розглядатися не лише як результат логістичної організації чи інтенсивності вантажопотоку, а й як наслідок здатності АТЗ зберігати функціональну стабільність за умов польової експлуатації. В аграрній сфері технічний стан та функціональна стабільність автотранспортного засобу виступають не другорядним інженерним аспектом, а одним із визначальних факторів щодо ефективності перевезення продукції в умовах сезонної напруженості, змінного довкілля та підвищеної технологічної відповідальності.

**Список використанихджерел**

1. Kamal Lamsal, Philip C. Jones, Barrett W. Thomas Harvest logistics in agricultural systems with multiple, independent producers and no on-farm storage. *Computers & Industrial Engineering* 2016. 91. 129-138, https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.10.018 .

2. Воронков О.А., Роговський І.Л. Модель узгодження транспортних потоків перевезення збіжжя автотранспортними засобами з поля до тимчасового пункту зберігання. *Розвиток транспорту*. 2025. 2(25). 108-121. 10.33082/td.2025.2-25.09 .

3. Pan J., Xu L., Lu E., Dai B., Chen T., Sun W., Cui Z., Hu J. Design and Experiment of an Unoccupied Control System for a Tracked Grain Vehicle. *Sensors*. 2024. 24(9), 2715. https://doi.org/10.3390/s24092715

4. Хоменко Ю. Л. Аналіз ефективності існуючих транспортно-технічних ліній транспортування зернових з україни. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2025. 30. 79–87. https://doi.org/10.15802/tstt2025/340140

5. Akter T., Mitra S. K., Hernandez S., Corro-Diaz K. A spatial panel regression model to measure the effect of weather events on freight truck traffic. *Transportmetrica A: Transport Science*. 2020. 16(3), 910–929. https://doi.org/10.1080/23249935.2020.1719552

***Коробко Андрій Іванович*** – д-р. техн. наук, професор, професор кафедри технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 421, e-mail: ak82andrey@gmail.com).

***Семенов Ілля Владиславович*** – аспірант кафедри технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 421).

***Andrii Korobko*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering and Machine Repair Technologies of Kharkiv National Automobile and Highway University (61002, 25 Yaroslav Mudryi Str., Kharkiv, Ukraine, office 421, e-mail: ak82andrey@gmail.com).

***Illia Semenov*** – PhD student of the Department of Mechanical Engineering and Machine Repair Technologies of Kharkiv National Automobile and Highway University (61002, 25 Yaroslav Mudryi Str., Kharkiv, Ukraine, office 421).

УДК 621.43

**Корпач А.О., Коноваленко А.С.**

# БІОДИЗЕЛЬ – ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО

*Дослідження біодизеля, як альтернативного виду палива для дизелів, дозволить обгрунтувати доцільність застосування біодизеля для зниження шкідливих викидів і зменшення залежності від викопних паливних ресурсів.*

**Ключові слова:** *біодизель, альтернативне паливо, дизель, спирти, трансестерифікація, екологічність.*

*The study of biodiesel as an alternative fuel for diesel engines makes it possible to substantiate the feasibility of biodiesel application in order to reduce harmful emissions and decrease dependence on fossil fuel resources.*

***Key words:*** *biodiesel, alternative fuel, diesel engine, alcohols, transesterification, environmental friendliness.*

У сучасному світі розвиток автомобільного транспорту супроводжується зростанням споживання паливно-енергетичних ресурсів та збільшенням негативного впливу на навколишнє середовище. Використання традиційного дизельного палива призводить до підвищеного викиду оксидів азоту, твердих частинок та інших шкідливих речовин, які негативно впливають на екологічний стан та здоров'я населення. Також, вичерпна кількість запасів викопних палив, зумовлює необхідність пошуку альтернативних джерел енергії.

Галузь автомобільного транспорту є однією з ключових складових сучасної економіки, яка забезпечує мобільність населення, перевезення вантажів і ефективне функціонування промислових, сільськогосподарських та торговельних структур. Ця галузь відіграє важливу роль у розвитку внутрішнього та міжнародного ринків, сприяючи інтеграції регіонів і підвищенню конкурентоспроможності держави [1].

Біодизельне паливо за своїми властивостями є близьким до традиційного дизельного палива. Основу біодизеля становлять метилові або етилові ефіри жирних кислот, які отримують у процесі трансестерифікації рослинних олій або тваринних жирів. Найбільш поширеною сировиною для виробництва біодизеля в Україні є ріпакова олія. Схема виробництва біодизеля рис.1.

Важлива роль у виробництві біодизеля - спиртів, зокрема метанолу та етанолу. У процесі трансестерифікації рослинної олії спирт реагує з тригліцеридами за наявності каталізатора, внаслідок чого утворюються метилові або етилові ефіри жирних кислот та гліцерин, як побічний продукт. Як каталізатори найчастіше використовуються гідроксиди або алкоксиди калію та натрію. Вибір типу спирту та каталізатора впливає на швидкість реакції, вихід готового палива та його якісні показники.

Однією з основних характеристик біодизеля є його цетанове число, яке, як правило, є вищим, ніж у нафтового дизельного палива. Високе цетанове число забезпечує кращу займистість паливної суміші, більш стабільний процес згоряння та зменшення затримки запалювання. Це позитивно впливає на роботу дизеля, особливо в режимах часткового навантаження [4].

Біодизель є популярним у багатьох країнах світу як добавка до традиційного дизельного палива або як повноцінне паливо для двигунів внутрішнього згоряння. Найбільш активно його застосовують у країнах Європейського Союзу, США та Бразилії, де біодизель додають до дизельного палива (наприклад, суміші B5-B20) для зменшення шкідливих викидів та зниження залежності від викопних енергоресурсів [5].




Рисунок 1 – Виробництво біодизеля

Виробництво та використання біодизеля може здійснюватися за замкнутим циклом (рис. 1). Сировиною для його отримання є відновлювальні ресурси – рослинні культури, які за допомогою сонячної енергії поглинають $CO_2$ у процесі фотосинтезу. Отримане паливо може використовуватися в існуючих дизелях без суттєвих конструктивних змін. Під час згоряння біодизеля в атмосферу виділяється $CO_2$, який знову поглинається рослинами, що формує частково нейтральний цикл вуглецю.

Зараз використовують три методи виробництва біодизельного палива.

Найпоширенішим методом виробництва біодизеля є лужна трансестерифікація рослинних олій. У цьому процесі тригліцериди реагують зі спиртом та метанолом у присутності лужного каталізатора - гідроксиду натрію NaOH або калію KOH. В результаті реакції утворюються метилові ефіри жирних кислот та побічний продукт - гліцерин. Таке виробництво має невисоку складність, високий вихід продукту та низькою собівартістю. Схема реакції трансестерифікації рослинної олії при виробництві біодизеля рис. 2.

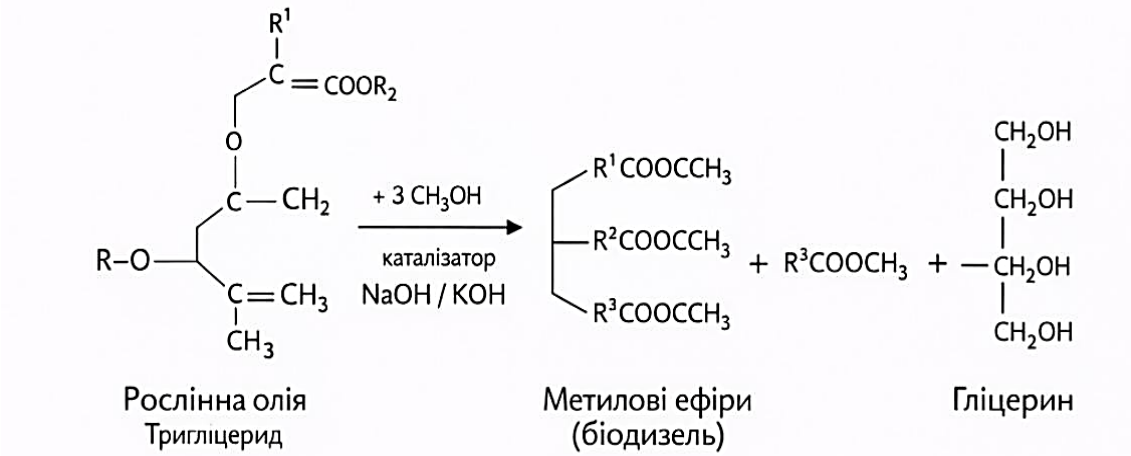



Рисунок 2 – Схема реакції трансестерифікації рослинної олії при виробництві біодизеля [4]

Ензимний метод виробництва базується на використанні спеціальних ферментів - ліпаз, які каталізують реакцію перетворення тригліцеридів у ефіри жирних кислот. Основною перевагою цього способу є можливість проводити реакцію при нижчих температурах і без утворення великої кількості побічних продуктів. Також ферментативний процес дозволяє переробляти сировину з підвищеним вмістом вільних жирних кислот. Недоліком є висока вартість ферментів та повільніша швидкість проходження реакції.

Двоступеневий метод застосовується для сировини з високим вмістом вільних жирних кислот, як наприклад відпрацьовані рослинні олії. На першому етапі проводиться кислотна естерифікація, під час якої вільні жирні кислоти реагують зі спиртом у присутності кислотного каталізатора, зазвичай це сірчана кислота. На другому етапі виконується стандартна лужна трансестерифікація тригліцеридів. Такий підхід дозволяє підвищити вихід біодизеля та ефективно використовувати дешеву сировину [3].

Для зменшення токсичності відпрацьованих газів при роботі на біодизельному паливі доцільним є коригування кута випередження впорскування палива. Оптимізація моменту впорскування дозволяє покращити процес згоряння, знизити пікові температури в камері згоряння та зменшити утворення шкідливих компонентів. Порівняння властивостей дизельного палива та біодизеля наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння основних показників дизельного палива та біодизеля [1, 2]

| Показник | Дизельне паливо | Біодизель |
|---|---|---|
| Цетанове число,од. | 45-50 | 50-65 |
| Теплота згоряння, МДж/кг | 42-43 | 37-39 |
| Вміст сірки | Є | Немає |
| Біорозкладність | Низька | Висока |
| Викиди $CO_2$ | Високі | Низькі |

Важливою перевагою біодизеля є майже повна відсутність сірки, тоді як у звичайному дизельному паливі її вміст, навіть з сучасними стандартами, хоч і є мінімальний, але присутній. Зниження вмісту сірки сприяє зменшенню шкідливих викидів та корозійного впливу на елементи паливної системи. Тому, біодизельне паливо є більш екологічною альтернативою традиційному дизельному паливу за збереження прийнятних експлуатаційних характеристик.

Україна має значний аграрний потенціал для виробництва біодизельного палива. Ріпак є однією з основних олійних культур, що вирощуються в нашій країні і широко використовується, як сировина для отримання біодизеля. Площі посівів ріпаку протягом останніх років показують загальну тенденцію до зростання, що свідчить про економічну доцільність та експортну привабливість цієї культури. Основними регіонами вирощування ріпаку є центральні, західні та північні області України, де кліматичні умови є найбільш сприятливими для формування високих урожаїв. Розширення посівних площ і зростання врожайності створюють передумови для розвитку внутрішнього виробництва біодизельного палива та зменшення імпортозалежності в енергетичному секторі [2].

Біодизель є перспективним альтернативним паливом для дизелів, яке поєднує екологічні переваги з можливістю використання в існуючій конструкції без суттєвих конструктивних змін. Порівняння викидів на дизельному паливі та на біодизелі показано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння викидів на дизельному паливі та на біодизелі [2]

| Компонент | Дизель (% базово) | Біодизель (%від дизеля) |
|---|---|---|
| CO | 100% | 60% |
| HC | 100% | 50% |
| PM | 100% | 50% |
| NOx | 100% | 110% |

Аналіз екологічних показників свідчить, що використання біодизельного палива забезпечує суттєве зниження викидів оксиду вуглецю, незгорілих вуглеводнів та твердих частинок у порівнянні з традиційним дизельним паливом. Водночас у оксидів азоту є незначне зростання викидів, що пов'язано з підвищеним вмістом кисню в молекулах біодизеля та більш інтенсивним процесом згоряння.

Його застосування сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин і зниженню залежності від викопних паливних ресурсів. Значний сировинний потенціал України, зокрема у вирощуванні ріпаку, створює передумови для розвитку власного виробництва біодизельного палива та його використання з метою підвищення енергетичної безпеки країни. Це сприяє розвитку аграрного сектору та переробної промисловості. Подальше впровадження біодизеля потребує оптимізації технологій виробництва та адаптації двигунів з метою забезпечення екологічної й економічної ефективності [2, 4].

**Список використаних джерел**

1. Сирота В.І. Основи конструкції автомобілів. – Київ : Арістей, 2005. 280 с. ISBN 966-8458-45-1
2. Технології виробництва біодизеля.(Електронний ресурс). – Режим доступу: URL:https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/885-tekhnolohii-vyrobnytstva-biodyzelia.html (дата звернення 03.03.2026).
3. Виробництво біодизеля.(Електронний ресурс). – Режим доступу: URL:https://techinservice.com.ua/areas-of-activity/biodiesel-production/biodiesel/ (дата звернення 04.03.2026).
4. Біодизель з ріпаку: як виготовити, плюси, мінуси та ціна питання. (Електронний ресурс). – Режим доступу: URL:https://latifundist.com/cards/64-biodizel-z-ripaku-yak-vigotoviti-plyusi-minusi-ta-tsina-pitannya (дата звернення 06.03.2026).
5. Світовий ринок біодизелю. АПК Інформ. (Електронний ресурс). – Режим доступу: URL:https://www.apk-inform.com/uk/exclusive/topic/1528162(дата звернення 09.03.2026).

***Корпач Анатолій Олександрович*** — канд. техн. наук, професор, професор кафедри «Двигуни та теплотехніка» Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 303а, e-mail: akorpach@ukr.net).

***Коноваленко Андрій Сергійович*** — студент Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 303а, e-mail: akonovalenko843@gmail.com).

***Korpach Anatoliy*** — Ph.D, Professor, Professor of the Department of "Engines and Heat Engineering" of the National Transport University (01010, Kyiv, Omelyanovycha-Pavlenko St., 1, room 303a, e-mail: akorpach@ukr.net)

***Konovalenko Andriy*** – student at the National Transport University (01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko St., 1, room 303a, e-mail: akonovalenko843@gmail.com).

УДК 629.113

**Корпач О.А., Трубенок А.А.**

# ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ СУПУТНИКОВОЇ ТЕЛЕМЕТРІЇ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТЯГОВО-ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГКОГО КОМЕРЦІЙНОГО АВТОМОБІЛЯ

*Розглянуто особливості застосування високочастотної супутникової телеметрії для експериментального дослідження показників тягово-швидкісних властивостей легкого комерційного автомобіля та запропоновано метод математичної обробки масивів географічних координат для розрахунку пройденого шляху.*

***Ключові слова:*** *тягово-швидкісні властивості, легкий комерційний автомобіль, супутникова телеметрія, експериментальні дослідження, обробка даних.*

*The study considers the features of using high-frequency satellite telemetry for the experimental study of traction-speed property indicators of a light commercial vehicle and proposes a method for the mathematical processing of geographic coordinate arrays to calculate the distance traveled.*

***Key words:*** *traction-speed properties, light commercial vehicle, satellite telemetry, experimental research, data processing.*

Дослідження експлуатаційних властивостей легких комерційних автомобілів (LCV) вимагає отримання достовірних даних щодо їхньої поведінки в реальних дорожніх умовах. Незважаючи на стрімкий розвиток методів математичного моделювання, результати теоретичних розрахунків завжди потребують підтвердження шляхом проведення натурних дорожніх випробувань, особливо з огляду на велику кількість варіантів виконання LCV та практику їх переобладнання в умовах експлуатації, що призводить до зміни масо-габаритних параметрів автомобілів.

Класичні методи експериментальних досліджень показників тягово-швидкісних властивостей автомобілів передбачали використання громіздкого та складного, часто стаціонарного, обладнання (оптичних бар'єрів, «п'ятого колеса» тощо), що ускладнювало проведення дорожніх випробувань. Сучасною альтернативою є використання систем високочастотної супутникової телеметрії. Використання технологій глобального позиціонування дозволяє без втручання в конструкцію автомобіля безперервно та з високою точністю фіксувати його параметри руху в режимі реального часу.

Для проведення експериментальних заїздів для визначення показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля Volkswagen Caddy було використано вимірювальний комплекс супутникової телеметрії Dragy Performance Meter (модель DRG69). Прилад оснащено високочутливим приймачем (Ublox 8-го покоління), що підтримує одночасну роботу з системами GPS та GLONASS (рис.1). На відміну від побутових навігаторів, які оновлюють дані з частотою 1 Гц, цей комплекс забезпечує частоту дискретизації 10 Гц (10 вимірювань за секунду) із заявленою точністю вимірювання швидкості ±0,1 км/год. Така висока швидкість запису є необхідною для достовірного відтворення швидкоплинних процесів розгону автомобіля.

Отримані модулем первинні дані передаються бездротовим каналом Bluetooth на обчислювальний термінал (смартфон), де синхронізуються у часі та записуються у лог-файл формату *.dragy*. За допомогою приладу реєструються миттєва швидкість автомобіля, поздовжнє прискорення, поточні координати (широта та довгота), час руху, а також зміна висоти над рівнем моря (для контролю горизонтальності ділянки).

Для подальшої математичної обробки та побудови характеристик розганяння первинні дані декодувалися у табличний формат *.csv* (рис. 2). Оскільки масив експериментальних даних містить дискретні значення географічних координат точок траєкторії автомобіля (широту $\varphi$ та

довготу $\lambda$ у системі WGS-84), визначення фактичного пройденого шляху $S$ здійснювалося розрахунковим методом.




а) б)

Рисунок 1 – Вимірювальний комплекс супутникової телеметрії Dragy DRG69:
а) установка на автомобілі; б) конструкція.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Time | Speed (KMPH) | Speed (MPH) | Acceleration | Longitude | Latitude | SatelliteNum | Accuracy | Heading | Altitude |
| 2 | 0 | 1,36 | 0,845 | 0,181 | 30,87447033 | 50,37592783 | 12 | 0,58 | | 117,2 |
| 3 | 0,1 | 1,762 | 1,094 | 0,112 | 30,87446967 | 50,37592783 | 12 | 0,58 | | 117,2 |
| 4 | 0,2 | 2,822 | 1,753 | 0,296 | 30,8744685 | 50,37592817 | 12 | 0,58 | | 117,2 |
| 5 | 0,3 | 3,767 | 2,34 | 0,274 | 30,874467 | 50,3759285 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 6 | 0,4 | 4,814 | 2,991 | 0,292 | 30,874465 | 50,37592883 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 7 | 0,5 | 5,956 | 3,7 | 0,331 | 30,8744625 | 50,37592917 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 8 | 0,6 | 7,461 | 4,636 | 0,42 | 30,87445967 | 50,37592983 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 9 | 0,7 | 8,758 | 5,441 | 0,362 | 30,87445617 | 50,3759305 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 10 | 0,8 | 10,456 | 6,497 | 0,493 | 30,874452 | 50,37593133 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 11 | 0,9 | 11,957 | 7,429 | 0,419 | 30,87444733 | 50,37593217 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 12 | 1 | 13,786 | 8,566 | 0,531 | 30,874442 | 50,37593333 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 13 | 1,1 | 15,145 | 9,41 | 0,379 | 30,87443617 | 50,3759345 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 14 | 1,2 | 15,988 | 9,934 | 0,235 | 30,87443 | 50,3759355 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 15 | 1,3 | 17,179 | 10,674 | 0,345 | 30,87442333 | 50,375937 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 16 | 1,4 | 18,743 | 11,646 | 0,436 | 30,87441617 | 50,37593833 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 17 | 1,5 | 20,003 | 12,429 | 0,365 | 30,8744085 | 50,37593983 | 12 | 0,6 | | 117,2 |
| 18 | 1,6 | 21,739 | 13,507 | 0,484 | 30,87440017 | 50,3759415 | 12 | 0,6 | | 117,1 |
| 19 | 1,7 | 23,225 | 14,431 | 0,414 | 30,87439117 | 50,37594317 | 12 | 0,6 | | 117,1 |
| 20 | 1,8 | 24,812 | 15,417 | 0,46 | 30,87438167 | 50,375945 | 12 | 0,6 | | 117,1 |
| 21 | 1,9 | 26,297 | 16,34 | 0,414 | 30,87437167 | 50,37594683 | 12 | 0,6 | | 117,1 |
| 22 | 2 | 27,694 | 17,208 | 0,405 | 30,874361 | 50,37594883 | 12 | 0,6 | | 117,1 |

Рисунок 2 – Фрагмент лог-файлу, отриманого за результатами роботи вимірювального комплексу Dragy DRG69

Запропонований метод обробки базується на числовому інтегруванні елементарних переміщень автомобіля між суміжними точками фіксації координат (з кроком дискретизації $\Delta\tau$ = 0,1 с). Шлях руху $\Delta S_i$ між двома послідовними точками $P_i$ ($\varphi_i$, $\lambda_i$) та $P_{i+1}$ ($\varphi_{i+1}$, $\lambda_{i+1}$) обчислювався за формулою гаверсинусів [2], що враховує сферичну форму Землі та дозволяє мінімізувати похибку апроксимації на відносно малих відстанях під час заїзду:

$$\Delta S_i = 2 \cdot R \cdot \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_{i+1}-\varphi_i}{2}\right) + \cos\varphi_i \cdot \cos\varphi_{i+1} \cdot \sin\left(\frac{\lambda_{i+1}-\lambda_i}{2}\right)}\right), \quad (1)$$

де $R$ – середній радіус Землі, $R$ = 6371000 м;
$\varphi_i$, $\varphi_{i+1}$ – географічна широта поточної та наступної точок вимірювання, рад;

$\lambda_i$, $\lambda_{i+1}$ – географічна довгота поточної та наступної точок вимірювання, рад.

Сумарний пройдений шлях $S$ за час проведення заїзду визначався як сума шляхів $\Delta S_i$ між точками для всього масиву вимірюваних даних $n$:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta S_i \,. \qquad (2)$$

З метою підтвердження достовірності запропонованого методу обробки даних та перевірки точності показань комплексу супутникової телеметрії було проведено контрольні заїзди на тарованій мірній ділянці довжиною 1000 м. Відхилення розрахованого за координатами шляху від еталонного не перевищувало 0,5 %. Отримані результати підтверджують, що цей метод у поєднанні із застосуванням високочастотної супутникової телеметрії забезпечує високу достовірність визначення показників тягово-швидкісних властивостей і може використовуватися для перевірки адекватності математичних моделей руху автомобіля.

**Список використаних джерел**

1. Dragy DRG69 GPS Performance Meter. Technical Specifications. Dragy Motorsports. URL: https://dragymotorsports.com/

2. Gao W., Mao S., Geng J., Li W., Sun H. DictRoadNet: A Dictionary-Based RNN With Road Network Module for GPS Trajectory Completion. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2024. P. 1–15. DOI: https://doi.org/10.1109/TITS.2025.3627445

***Корпач Олексій Анатолійович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, e-mail: korpach1988@gmail.com

***Трубенок Андрій Анатолійович*** – аспірант кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, e-mail: andrey-akpp@ukr.net

***Korpach Oleksii*** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles, National Transport University, e-mail: korpach1988@gmail.com

***Trubenok Andrii*** – Postgraduate Student of the Department of Automobiles, National Transport University, e-mail: andrey-akpp@ukr.net

УДК 629.33.027.3

**Крайник Л.В., Дуфанець І.Г., Хімка С.М., Дуфанець М.В.**

# МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ ТА ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ТРИВІСНИХ АВТОБУСІВ ОСОБЛИВО ВЕЛИКОЇ МІСТКОСТІ

*У роботі представлено дослідження динаміки гальмування тривісних транспортних засобів із моноблочним кузовом. Проаналізовано вплив роздільної пневматичної підвіски на перерозподіл осьових навантажень та визначено математичні залежності для розрахунку вертикальних реакцій. Запропоновано методику оптимізації структурних схем гальмівного приводу, що забезпечує підвищення ефективності запасної гальмівної системи відповідно до міжнародних нормативів.*

***Ключові слова:*** *автобус, гальмування, реакції, оптимізація, підвіска, сповільнення, контури.*

*The paper presents a study of the braking dynamics of three-axle vehicles with a monocoque body. The influence of separate pneumatic suspension on the redistribution of axle loads is analyzed, and mathematical dependencies for calculating vertical reactions are determined. A methodology for optimizing the structural schemes of the brake drive is proposed, which ensures an increase in the efficiency of the secondary braking system in accordance with international standards.*

***Key words:*** *bus, braking, reactions, optimization, suspension, deceleration, contours.*

Сучасні тенденції розвитку пасажирського транспорту вказують на зростання попиту на тривісні автобуси особливо великої місткості, що зумовлено потребою підвищення продуктивності перевезень у великих мегаполісах. Проте проектування таких транспортних засобів з моноблочним кузовом ставить складні науково-технічні задачі, пов'язані з забезпеченням стабільності гальмівних властивостей. На відміну від вантажних автомобілів, де зазвичай застосовується балансирна підвіска заднього візка, тривісні автобуси характеризуються наявністю роздільної підвіски для кожної з осей. Це призводить до специфічного динамічного перерозподілу вертикальних реакцій, що безпосередньо впливає на реалізацію гальмівних сил та загальну безпеку руху.

Аналіз наукових шкіл, зокрема Львівської та Харківської, підтверджує, що ефективність гальмування багатовісних колісних транспортних засобів значною мірою залежить від точності моделювання сил у контакті коліс із дорогою [1-2]. У контексті тривісних автобусів ситуація ускладнюється нерівномірним статичним розподілом мас: зазвичай друга вісь є ведучою і несе значно більше навантаження, ніж третя (підтримуюча) вісь. Під час інтенсивного сповільнення відбувається суттєве розвантаження задніх осей та довантаження передньої осі, що за умови невдалого синтезу гальмівного приводу може призвести до передчасного блокування коліс або недостатньої ефективності запасної системи.

Математичне моделювання процесу гальмування базується на визначенні вертикальних реакцій Z1, Z2, Z3. Для автобусів із пневматичною підвіскою принциповим є врахування кінематики напрямних елементів (реактивних штанг), оскільки вони визначають положення центру диференту кузова. Встановлено, що мінімізація поздовжнього крену кузова досягається шляхом такого проектування підвіски, при якому момент від інерційних сил частково компенсується вертикальними складовими реакцій у штангах.

$$z_1 = \frac{F_j \times h\left(1-\frac{1}{c}\right)+G_a \times a}{a+b} \times \left(1-\frac{1}{c}\right)^{-1} \quad (1)$$

$$z_2 = \frac{G\times a+F\times h+\frac{G\times a-F\times h}{a+b+c}+G_a\times a}{a+b} \times \left(1+\frac{1}{a+b+c}\right)^{-1} \quad (2)$$

$$z_3 = \frac{G\times a-F\times h+\frac{G\times a-F\times h}{a+b}}{a+b+c} \times \left(1+\frac{1}{a+b}\right)^{-1} \quad (3)$$

Окремим аспектом дослідження є структурний синтез гальмівного приводу. Згідно з вимогами [3], транспортний засіб повинен зберігати певну ефективність гальмування (запасна система) навіть у разі відмови одного з контурів робочого приводу. Для тривісних колісних транспортних засобів існує декілька варіантів розділення контурів. Проведений аналіз показав, що традиційне розділення, передня вісь – задні осі часто не дозволяє досягти нормативного сповільнення 2,5 м/с2 при відмові одного з контурів, особливо в навантаженому стані автобуса.

В ході параметричної оптимізації було розглянуто чотири базові схеми розділення контурів. Найбільш перспективною виявилася структура, в якій третя вісь задіяна в обох контурах гальмівного приводу [4-5]. Технічно це реалізується через використання прискорювального клапана із двома керуючими магістралями. За такої схеми, у разі виходу з ладу будь-якого контуру, активними залишаються дві з трьох осей, що гарантує сповільнення на рівні 3,8–4,5 м/с2. Це не лише з запасом перекриває вимоги стандартів, а й суттєво підвищує курсову стійкість автобуса, запобігаючи неконтрольованому заносу задньої частини.

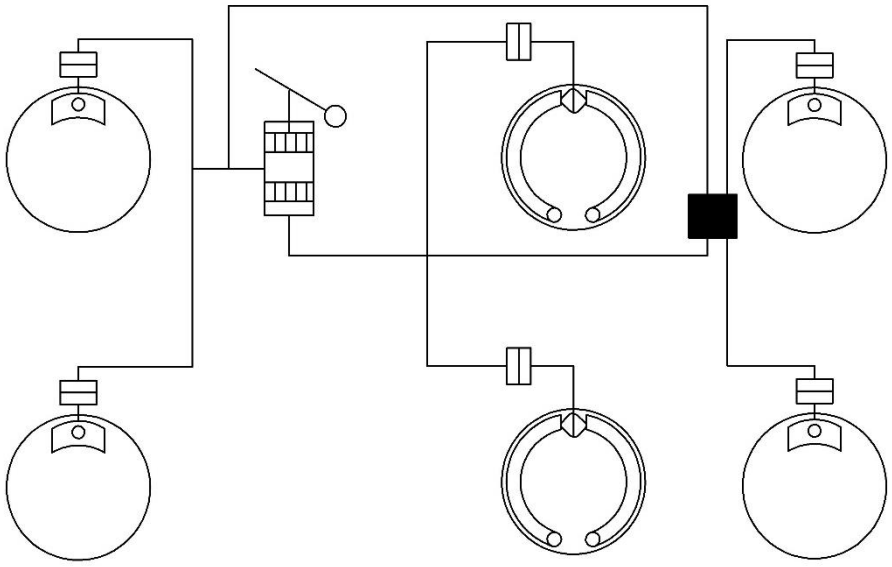


Рисунок 1 – Оптимальна схема розподілу контурів приводу колісних гальм 3- вісного автобуса з моноблочним кузовом

Окрім того, впровадження електронних систем керування гальмуванням (EBS) відкриває нові можливості для адаптивного розподілу гальмівних зусиль залежно від поточного завантаження кожної осі. Алгоритми керування повинні враховувати поточні координати центру мас, які у тривісних автобусів можуть суттєво змінюватися залежно від кількості пасажирів у задньому звисі. Використання датчиків тиску в пневмопідвісці як інформаційних елементів для EBS дозволяє реалізувати стратегію гальмування, максимально наближену до ідеальної кривої розподілу зусиль.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що перехід до комплексного проектування «підвіска-гальма» є необхідною умовою створення безпечного багатовісного пасажирського транспорту. Результати математичного моделювання підтверджують, що запропоновані схеми розділення контурів та методи розрахунку вертикальних реакцій забезпечують стабільні динамічні характеристики ТЗ у широкому діапазоні експлуатаційних умов..

**Список використаних джерел**

1. Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатий В.І. Бобошко А.А. Маневреність і гальмівні властивості колісних машин /Під ред. М.А Подригало. – Харків: Вид-во ХНАДУ, 2003 – 403с

2. Дем'янюк В.А. Аналіз процесу гальмування автобусів та синтез їх гальмових керувань // Вісник НУ "Львівська політехніка". "Динаміка, міцність та проектування машин і приладів" – Львів. 2004. - №509. – с.17-20.

3. Правила ЄЕК ООН UN/ECE R 13. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій M, N і O стосовно гальмування. – Введено вперше; Ввід. 24.07.2002. [Чинні від 14.01.2008]. – Женева : Європейська Економічна Комісія Організації Об’єднаних націй, 2008. –276 с

4. Крайник Л.В., Дуфанець І.Г. Динаміка і параметрична оптимізація гальмового приводу тривісного автобуса з моноблочним кузовом. / Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. Харків, 2009. Вип. 2(9). С 33-36

5. Крайник Л.В.1, Дуфанець І.Г. Формування схеми приводу гальм і диференту моноблочного кузова тривісного автобуса / Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. № 1 (24), ЛНТУ, Луцьк, 2025. – С.245-250. DOI 10.36910/automash.v1i24.1729.

***Крайник Любомир Васильович*** **–** доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів і тракторів факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького

***Дуфанець Ігор Гнатович*** **–** старший викладач кафедри автомобілів і тракторів, факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького

***Хімка Степан Миколайович*** **–** кандидат технічних наук, доцент, кафедри автомобілів і тракторів, факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького

***Дуфанець Марта Василівна*** **–** доктор філософії, доцент кафедри оптоелектроніки та інформаційних технологій факультету електроніки та комп’ютерних технологій Львівського національного університету імені Івана Франка

***Lubomyr Kraynyk*** **–** Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobiles and Tractors, Faculty of Mechanics, Energy and Information Technologies, Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after Stepan Gzhytsky

***Ihor Dufanets*** **–** Senior Lecturer, Department of Automobiles and Tractors, Faculty of Mechanics, Energy and Information Technologies, Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after Stepan Gzhytsky

***Stepan Khimka*** **–** PhD, Associate Professor, Department of Automobiles and Tractors, Faculty of Mechanics, Energy and Information Technologies, Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after Stepan Gzhytsky

***Marta Dufanets*** **–** PhD, Associate Professor, Department of Optoelectronics and Information Technologies, Faculty of Electronics and Computer Technologies, Ivan Franko National University of Lviv

УДК 629.3

**Криворот А.І., Демченко І.В.**

# МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ РУХУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВЗ ЧЕРЕЗ МОДЕРНІЗОВАНІ ГЛУШНИКИ

*Дослідження присвячене моделюванню робочих процесів глушіння звуку та руху відпрацьованих газів ДВЗ через модернізовані глушники у програмному середовищі SOLIDWORKS, що дозволяє виявити найкращі конструкції глушників, які спроможні зменшити негативний шумовий вплив на оточуючих.*

***Ключові слова:*** *моделювання, глушник системи випуску відпрацьованих газів, ДВЗ, шум, швидкісь потоку газів.*

*The study is devoted to modeling the operating processes of sound attenuation and the flow of exhaust gases in internal combustion engines (ICE) through модернізовані mufflers using the SOLIDWORKS environment. This approach makes it possible to identify optimal muffler designs capable of reducing the negative noise impact on the surrounding environment.*

***Key words****: modeling, exhaust system muffler, internal combustion engine (ICE), noise, gas flow velocity.*

Сучасний розвиток двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) супроводжується зростанням вимог до екологічних показників, енергоефективності та акустичного комфорту транспортних засобів. У цьому контексті особливого значення набувають процеси руху відпрацьованих газів у системі випуску відпрацьованих газів ДВЗ (СВВГ ДВЗ), зокрема у глушниках, які виконують не лише функцію зниження шуму, але й впливають на газодинамічні та енергетичні характеристики двигуна.

Аналіз еволюції конструкцій глушників свідчить, що їх розвиток відбувався у тісному взаємозв'язку з удосконаленням ДВЗ та посиленням екологічних стандартів. Від простих камерних пристроїв глушники трансформувалися у складні багатофункціональні системи, що поєднують процеси шумозниження, очищення відпрацьованих газів і оптимізації їх руху. Застосування сучасних матеріалів (нержавіючі сталі, титанові, керамічні, композитні матеріали та термопластмаси) і високотехнологічних методів виробництва (адитивні технології, лазерне зварювання, прецизійне формування 3-D друк) дозволило значно підвищити ефективність і довговічність цих елементів.

В літературі [1-6] показано, що різні типи глушників (резонансні, абсорбційні, комбіновані) мають специфічні особливості впливу на акустичні характеристики та протитиск у системі випуску. Окрему увагу привертають активні системи шумозаглушення, які відкривають нові можливості керування акустичними процесами в реальному часі.

У зв'язку з цим актуальним є застосування методів чисельного моделювання (CAE/CAD) для дослідження робочих процесів руху відпрацьованих газів у модернізованих глушниках. Це дозволяє оптимізувати їхню внутрішню геометрію, зменшити гідравлічні втрати, покращити акустичні характеристики та підвищити загальну ефективність роботи ДВЗ. Таким чином, моделювання є ключовим інструментом у розробці сучасних конструкцій глушників та їх інтеграції у комплексні системи екологічного контролю транспортних засобів.

У даній роботі запропоновано застосування принципів конструкції глушників вогнепальної зброї для зниження шуму у СВВГ ДВЗ, що зумовлено подібністю процесів утворення шуму. В обох випадках він виникає внаслідок виходу високотемпературних газів із різкими перепадами тиску. Це дозволяє ефективно використовувати конструктивні рішення, орієнтовані на інтенсивні короткочасні викиди. Зниження шуму досягається шляхом поетапного розсіювання енергії та згладжування хвиль тиску без істотного обмеження потоку.

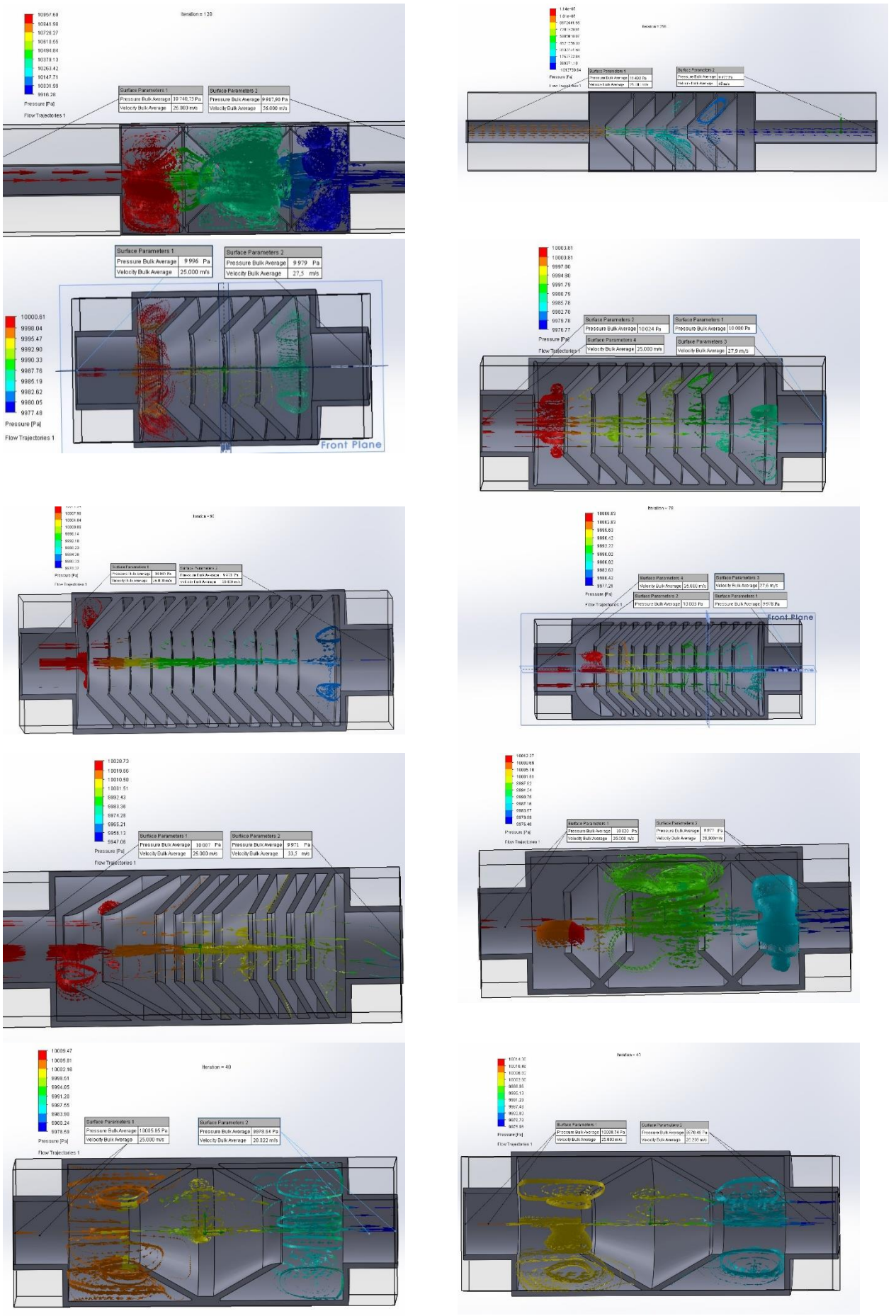



Рисунок 1 – Процес моделювання глушників у середовищі SOLIDWORKS

Для оцінки ефективності глушників проведено моделювання акустичних та газодинамічних процесів із використанням аналітичних моделей, створених у середовищі SOLIDWORKS. Досліджено було спроектовано десять зразків (рис.1), які призначатимуться для встановлення на одноциліндровий двотактний ДВЗ.

Запропоновані конструкції передбачають наявність кількох послідовних об'ємів або перегородок, які змушують звукові хвилі змінювати напрям поширення та втрачати енергію. Це забезпечує ефективне приглушення високочастотних складових за рахунок турбулентності та зниження середнього частотного діапазону через зменшення швидкості газів, при цьому не викликаючи значного зростання зворотного тиску.

Перевагою такого підходу є також мінімізація гідравлічних втрат. На відміну від традиційних рішень, гази рухаються переважно співвісно, а перегородки не перекривають прохідний канал повністю, створюючи умови для контрольованого розширення потоку. Це дозволяє зберегти пропускну здатність системи, забезпечити ефективну продувку циліндрів і не знижувати потужність двигуна.

Крім того, багатокамерна структура забезпечує стабільну ефективність у широкому діапазоні режимів роботи, на відміну від резонансних систем із вузькою частотною зоною дії. Компактність і конструктивна доцільність рішення дозволяють досягти високої акустичної ефективності без ускладнення компоновки вихлопної системи.

Аналітичне та числове моделювання, виконане в середовищі SOLIDWORKS, дало змогу проаналізувати вплив геометрії глушника на перепад тиску, рівень умовного шумопоглинання та зміну швидкості відпрацьованих газів. Результати дослідження серії з десяти моделей показали, що навіть незначні зміни кута нахилу конусів, а саме 30°, 35°, 40°, 45°, 50° та 60°, їх кількості, товщини або взаємного розташування істотно впливають на акустичні характеристики системи. При цьому було встановлено, що надмірне збільшення перепаду тиску хоча й забезпечує значне зниження шуму, але супроводжується небажаним зростанням швидкості потоку або потенційними втратами потужності ДВЗ.

Порівняльний аналіз отриманих даних дозволив виділити найбільш перспективні конструктивні рішення, які забезпечують прийнятний рівень шумопоглинання за мінімального впливу на газодинаміку. Саме ці елементи будуть використані як базові для формування експериментальних зразків глушників типу 1 та типу 2. Додатково було обґрунтовано доцільність застосування шайб з різними кутами нахилу, що створює передумови для цілеспрямованого налаштування акустичних властивостей глушника в залежності від режимів роботи двигуна.

Отже, використання глушників такого типу є перспективним напрямом забезпечення балансу між зниженням шуму та збереженням енергетичних показників двигуна.

**Список використаних джерел**

1. Munjal M. L. Acoustics of Ducts and Mufflers: With Application to Exhaust and Ventilation System Design. Chichester : John Wiley & Sons Ltd, 2014. 462 p.

2 Crocker M. J. Handbook of Noise and Vibration Control. Hoboken : John Wiley & Sons, 2007. 1600 p.

3 Fahy F., Gardonio P. Sound and Structural Vibration: Radiation, Transmission and Response. Oxford : Academic Press, 2007. 672 p.

4 Bies D. A., Hansen C. H. Engineering Noise Control: Theory and Practice. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2009. 768 p.

5 Beranek L., Vér I. Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications. Hoboken : John Wiley & Sons, 2006. 960 p.

6 Heckl M., Müller H. A. Mufflers and Silencers: Theory and Applications. Berlin : Springer, 2009. 280 p.

***Криворот Анатолій Ігорович*** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (36000, м. Полтава, вул. Віталія Грицаєнка, 24, ауд. 102Л, e-mail: anatol-likryvorot@gmail.com).

***Демченко Ілля Володимирович*** — інженер, ТОВ «LORI» (36000, м. Полтава, вул. Артема Амеліна, 26, e-mail:ilya.demchenko2015@gmail.com).

***Anatolii Kryvorot*** — Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Mechatronics of National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» (36000, Poltava, Vitaliia Hrytsaienka, Street, 24, room 120L, e-mail: anatollikryvorot@gmail.com).

***Illia Demchenko*** — Engineer, LLC “LORI” (36000, Poltava, 26 Artema Amelina Street, 26, e-mail: ilya.demchenko2015@gmail.com).

УДК 629.3.06

**Кудін О.П., Дударенко О.В.**

# ПІДВИЩЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛЯ ПЕРЕОБЛАДНАНОГО ДЛЯ РОБОТИ НА ЗНГ

*Застосування запропонованої системи контролю витоку пропан-бутанової суміші на автомобілях зі встановленим ГБО дозволить своєчасно виявити виникнення навіть незначної розгерметизації газової паливної системи та як наслідок, запобігти виникненню пожежі на таких транспортних засобах.*

***Ключові слова:*** *система контролю витоків газу, автомобіль, ГБО, виток газу, розгерметизація.*

*Implementation of the proposed propane leakage detection system on vehicles with LPG-systems allow to detect even slight gas system leaks, effectively preventing fire hazards in these vehicles.*

***Key words:*** *Gas leakage control system, vehicle, LPG system, flowchart, block diagram, gas leakage, depressurization.*

Сучасний світовий автомобільний ринок і автомобільний ринок України зокрема налічує велику кількість транспортних засобів, що використовують альтернативні види палива. Так станом на 01.01.2026 в Україні налічується 1.86 млн транспортних засобів переобладнаних для використання ГБО [1]. Ці дані не враховують автомобілі, власники яких не внесли дані щодо переобладнання до технічного паспорту автомобіля у сервісних центрах МВС України. Це, зокрема, пов'язано необхідністю проведення сертифікації встановленого обладнання, яка була запроваджена у 2019 році. Не останнім фактором являється і ціна на таку послугу, яка може становити до 10% від вартості самого переобладнання. Втім, на сьогоднішній день, згідно чинного законодавства, внесення змін до технічного паспорту автомобіля у випадку проведення його переобладнання є обов'язковим.

Вимоги до систем ГБО та їх монтажу визначаються Правилами ЄЕК ООН № 67 R01 [2], що регламентують єдині технічні умови до обладнання транспортних засобів для роботи на газовому паливі (СПГ/ЗНГ) та встановлення цього обладнання. Зокрема, Правилами передбачається наявність у системах ГБО елементів безпеки, таких як клапани аварійного скидання надлишкового тиску, запірних арматур, швидкісних клапанів, що перекривають подачу газу у випадку різкої розгерметизації системи. Тим не менш, на сьогоднішній день у комплектах ГБО для автомобільного транспорту відсутня система виявлення невеликих витоків газу та сповіщення водія про наявність такого витоку.

Слід зазначити, що в системах ГБО таких виробників як Prins (система VSI) та TE-GAS (Tamona) присутня системна функція виявлення витоку газу на ділянці від редуктора-випаровувача до газових форсунок. Вона заснована на аналізі даних з датчику тиску газу, що встановлений на цій ділянці магістралі, і при нетипових падіннях тиску (наприклад при роботі автомобіля на бензині) система записує діагностичну помилку до блоку керування, однак доступ цієї інформації можна отримати лише за допомогою діагностичного інтерфейсу до такої системи, а для кінцевого користувача, тобто для водія, такий функціонал недоступний. Система буде сигналізувати лише про наявність несправності, і у певних випадках унеможливить перехід роботи автомобіля з бензину на газ. Такий самий алгоритм частково присутній у заводських системах газового обладнання автомобілів Mercedes NGT, та Volkswagen Eco-Fuel, що використовують СПГ в якості палива.

До сьогодні, основним методом виявлення розгерметизації паливної газової системи залишається органолептичний метод. На етапі синтезу до пропан-бутанової суміші додаються спеціальні одоранти які забезпечують характерний різкий запах для пропан-бутану і метану,

який є досить специфічним і який людина здатна відчути. Тим не менш, у такому випадку своєчасне виявлення газового витоку на автомобілі залежить безпосередньо від психофізичних особливостей водія. Після світової пандемії вірусу COVID-19 почастішали випадки притуплення або повної втрати нюхових відчуттів, тобто людина може не відчувати запахи взагалі. В такому випадку можливість виявити небезпечну концентрацію пропан-бутану чи метану для такого водія в автомобілі або поряд із ним буде просто відсутня. З огляду на це є необхідність в розроблені автоматизованої системи виявлення витоку газу на автомобілі із подальшим інформуванням водія про його наявність.

Таблиця 1 – Рекомендований перелік зон в яких можливе виникнення витоків газу

| № | Локалізація | № зони | Характеристика витоку | Причина виникнення | Дії водія |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Багажне відділення | Зона 3 | Помірне | Спрацювання аварійного зривного клапану | Не використовувати автомобіль, обмежити доступ оточуючих до нього, забезпечити провітрення багажного відділення до припинення витоку |
| 2. | Багажне відділення | Зона 3 | Помірне | Порушення герметичності з'єднань | Перекрити балон, дочекатись провітрення простору багажного відділення, звернутись на СТО для усунення |
| 3. | Зовнішня частина підлоги автомобіля | | Інтенсивне | Механічне пошкодження газової магістралі | Перекрити балон, звернутись до спеціалізованого СТО для усунення витоку |
| 4. | Підкапотний простір (район встановлення газового редуктора) | Зона 1 / 2 | Помірне | Послаблення з'єднання вхідної газової магістралі | Перекрити балон, звернутись до спеціалізованого СТО для усунення витоку |
| 5. | Підкапотний простір, зона газового редуктора, місце встановлення фільтру грубої очистки | Зона 1 / 2 | Інтенсивне/помірне | Несвоєчасне виконання регламентних робіт, втрата первинних властивостей гумового ущільнювача фільтру, | Перекрити балон, дочекатись припинення витоку, звернутись до спеціалізованого СТО для усунення витоку |

За існуючої елементної бази систем ГБО ТМ STAG можливо реалізувати підключення декількох датчиків газу у заздалегідь визначених зонах, оскільки газовий контролер вже вміє опрацьовувати сигнали з різних датчиків таких як датчики температури і тиску газу, що передають дані у вигляді значень напруги. Для реалізації потрібне доопрацювання інтерфейсу програми та програмування діапазонів значень напруги обраних датчиків, визначення рекомендованих зон їх розташування, та програмування дій системи у випадку виявлення витоку газу у певній зоні спостереження.

Альтернативним варіантом є розробка універсальної системи виявлення витоку, яку можливо встановити на будь-який автомобіль незалежно від виробника газового обладнання,

його покоління, тощо. Перевагою такого підходу є універсальність системи, що дасть можливість її застосування як на автомобілях із електронними системами впорскування, так і на автомобілях із 2м поколінням ГБО, які ще продовжують застосовуватись в Україні.

Основні причини виникнення витоку газу на переобладнаних автомобілях зазвичай можна умовно поділити на : 1) пошкодження експлуатаційного характеру – характеризуються зазвичай незначними витоками газу. Це ослаблення хомутів, пошкодження газових гумових рукавів внаслідок втрати гумовими елементами своїх первинних характеристик. 2) Механічні пошкодження елементів системи внаслідок стороннього втручання. Це або умисні дії, або пошкодження, що виникли внаслідок неякісного ремонту, порушень правил ремонту, зварних робіт, робіт з іншими вузлами автомобіля, внаслідок яких було пошкоджено газові магістралі. 3) Механічні аварійні пошкодження внаслідок ДТП, зазвичай можуть характеризуватись пошкодження заправного баку, запірної арматури, розривом газових магістралей, пошкодженням внаслідок протиправних дій третіх осіб, тощо.

Для автоматичного своєчасного виявлення виникнення розгерметизації газової системи пропонується застосування підходу, що використовується у системах IoT (інтернету речей), які впроваджено у побутових системах розумного будинку, системах контролю витоку газу на промислових підприємствах, тощо. Даний підхід зумовлює використання системи із електронним керуванням на базі мікроконтролерів Arduino [3] або ESP32 [4,5] із застосування відповідних типів датчиків виявлення газу.

Проведеним аналізом функціонування газових систем на автомобілях було встановлено рекомендований перелік зон в яких можливе виникнення витоків газу, для зручності дані було зведено у таблицю 1.

Подальшим продовженням роботи буде розробка алгоритму функціонування системи, вибір мікроконтролеру для її реалізації, математичне моделювання витоку газу із визначенням критичних зон скупчення газу в яких буде рекомендовано встановлення датчиків, розробка тестового зразку і перевірка роботи системи в реальних дорожніх умовах.

**Список використаних джерел**

1. Відповідь на запит про публічну інформацію Головного сервісного центру МВС України No 31/2543І-6553-2026 від 25.03.2026 (275922) Руслан Жук, перший заступник начальника. Київ, 2026. 1 арк.

2. Regulation No. 67 of the United Nations Economic Commission for Europe (UN ECE). Uniform provisions concerning the approval of specific equipment of motor vehicles using liquefied petroleum gases in their propulsion system : E/ECE/324/Rev.1/Add.66. URL: https://unece.org/transport/vehicle-regulations-wp29/standards/addenda-1958-agreement-regulations-61-80 (дата звернення: 23.03.2026)..

3. Saranya, S., Meenakshi, M., Meena, N., Sudha, G., Subbiah, S., & Rajalakshmi, B. (2023). Gas Leakage Detection System using Arduino. *2023 Intelligent Computing and Control for Engineering and Business Systems, ICCEBS 2023*. https://doi.org/10.1109/ICCEBS58601.2023.10449284.

4. Dahab, K. A. T., Medina, A. N. E., Siena, M. A. U., Co, J. D. C., Centeno, C. J., & Tanael, D. V. (2022). Implementation of a Liquefied Petroleum Gas Leakage Detection System. *ACM International Conference Proceeding Series*, 263–269. https://doi.org/10.1145/3582099.3582138

5. Kumar, R. R., Namachivayam, M., Deviprakash, M., Pradeep, V., Selvakumar, K., & Sharunithi, G. (2023). LPG Gas Level Monitoring and Leakage Detection System. *International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems, ICSSAS 2023 - Proceedings*, 1463–1468. https://doi.org/10.1109/ICSSAS57918.2023.10331805

.

***Кудін Олександр Петрович*** — аспірант кафедри автомобілів, теплових двигунів та гібридних енергетичних установок Національного університету «Запорізька політехніка» (69063, Україна, м. Запоріжжя, вул. Гоголя 64 – А, ауд.59, e-mail: kudin.alex@zp.edu.ua)

***Дударенко Ольга Василівна*** — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, теплових двигунів та гібридних енергетичних установок Національного університету «Запорізька політехніка» (69063, Україна, м. Запоріжжя, вул. Гоголя 64 – А, ауд.59).

***Kudin Oleksander*** – PhD student of department “Cars, heat engines and hybrid power plants” of National University “Zaporizhzhia Polytechnic” (69063, Zaporizhzhia, str. Gogol 64-A, room 59, e-mail: kudin.alex@zp.edu.ua).

***Dudarenko Olga*** – candidate of technical sciences (Ph. D in Eng.), associate professor of the department “Cars, heat engines and hybrid power plants” of National University “Zaporizhia Polytechnic” (69063, Zaporizhzhia, str. Gogol 64-A, room 59).

УДК 621.45

**Куць Н.Г.**

# ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ НА ВОДІ

*При пошуку альтернативних джерел енергії, концепція водяного двигуна для автомобіля є особливо актуальна як перспективний напрям, здатний змінити підходи автовиробників. Водяний двигун, або двигун на основі водяного палива, функціонує завдяки використанню води як джерела енергії через хімічні процеси із залученням електричного струму. Зокрема, під час електролізу вода розщеплюється на водень і кисень, після чого водень застосовується як паливо для роботи двигуна автомобіля. Отже, водяний двигун слід розглядати не лише як інноваційне рішення, а й як важливий крок до формування чистішого, сталого та енергоефективного транспортного середовища.*

***Ключові слова:*** *водяний двигун, дисоціація води, теплова енергія, альтернативні джерела енергії.*

*In the search for alternative energy sources, the concept of a water-powered engine for automobiles is particularly relevant as a promising direction capable of transforming the approaches of car manufacturers. A water engine, or a water-fuel-based engine, operates by using water as an energy source through chemical processes involving electric current. Specifically, during electrolysis, water is split into hydrogen and oxygen, after which hydrogen is used as fuel to power the vehicle's engine. Therefore, a water engine should be considered not only as an innovative solution, but also as an important step toward creating a cleaner, more sustainable, and energy-efficient transport environment*

***Key words:*** *water-powered engine (water engine), water dissociation, thermal energy, alternative energy sources*

Водяний двигун розглядається як інноваційна технологічна система, у якій вода виступає не просто середовищем, а вихідною сировиною для отримання енергії, необхідної для приводу транспортних або інших механічних засобів. Суть цієї концепції полягає у перетворенні води на її складові елементи -- водень і кисень, які надалі можуть бути використані як енергетичний ресурс [1].

Отримано значну кількість міжнародних патентів, а також численні публікації в науково-популярних виданнях та інтернет-джерелах, що стосуються водяних автомобілів [2, 3]. Такі транспортні засоби позиціонуються як системи, здатні отримувати паливо безпосередньо з води без використання додаткових зовнішніх джерел енергії, або ж як гібридні моделі, які можуть працювати як на енергії, отриманій з води, так і на традиційних видах палива.

Існує кілька підходів до реалізації такого типу двигуна. Найбільш поширеним є застосування електролізу, в процесі якого вода під дією електричного струму розщеплюється на водень і кисень. Отримані гази потім використовуються у камері згоряння або іншій енергетичній системі для вироблення енергії, що забезпечує рух транспортного засобу чи функціонування механізму. Крім того, розглядаються альтернативні способи розкладу води, зокрема із застосуванням різних хімічних реакцій або плазмових технологій. Важливою перевагою таких систем є їх екологічність: у процесі використання утворюються переважно водяна пара та кисень, що мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище.

Концепція водяного двигуна привернула значну увагу завдяки своєму потенціалу, як екологічно безпечної альтернативи традиційним джерелам енергії. Водень, який отримують із води, розглядається як «чисте» паливо, адже продуктом його використання є переважно вода. Водночас практична реалізація цієї ідеї супроводжується низкою суттєвих технічних і економічних труднощів.

Серед ключових проблем -- значні енергетичні витрати на процес електролізу, складність зберігання та транспортування водню, а також невисокий загальний коефіцієнт корисної дії системи. Розщеплення води потребує великих обсягів енергії, яка часто генерується за рахунок традиційних, неекологічних ресурсів. Крім того, водень характеризується малою щільністю, що ускладнює його накопичення і вимагає використання спеціальних резервуарів, здатних витримувати високий тиск або температуру. Сукупні енергетичні втрати на всіх етапах (від виробництва водню до його кінцевого використання) — зумовлюють нижчу ефективність таких систем у порівнянні з іншими енергетичними технологіями.

Найпоширенішим способом поділу води на складові є електроліз — технологічний процес, у якому під дією електричного струму молекули води розщеплюються на водень і кисень. Окрім цього, існують альтернативні підходи, що базуються на перебігу хімічних реакцій за участю каталізаторів або спеціальних реагентів. Зокрема, окремі матеріали чи метали здатні прискорювати цей процес за умов підвищених температур або під впливом світлового випромінювання. Такі методи мають важливе прикладне значення, оскільки дають змогу отримувати водень як універсальний енергоносій, придатний для використання як паливо або в різних галузях промисловості. Крім того, вони відіграють ключову роль у становленні воднева енергетики та формуванні перспективної водневої економіки.

Розкладання води в умовах плазмової дуги являє собою процес, за якого молекули $H_2O$ під впливом надвисоких температур і інтенсивних енергетичних впливів розпадаються на складові -- водень і кисень. У плазмовому середовищі, яке утворюється внаслідок сильного нагрівання газу, створюються умови, за яких вода втрачає молекулярну цілісність. У такій дузі частинки води можуть розщеплюватися як через прямий енергетичний вплив, так і внаслідок взаємодії з іншими активними компонентами плазми. У результаті цього утворюються окремі атоми або молекули водню та кисню, що є наслідком високої енергії та реакційної здатності плазмового середовища.

Під дією імпульсного електричного розряду в середовищі водяної пари, який може генеруватися, наприклад, високовольтними імпульсами або спеціальними розрядними пристроями, відбувається інтенсивна іонізація молекул води разом із супутніми хімічними перетвореннями. У результаті цих процесів вода розпадається на водень і кисень. Отримані гази можуть надалі застосовуватися як компоненти водневого палива або використовуватися в різних технологічних і промислових процесах як реагенти чи джерело енергії.

Особливий інтерес становить можливість використання імпульсного розряду у водяній парі для швидкого зростання температури й тиску в камері згоряння теплового двигуна. Це реалізується шляхом подачі в камеру не рідкої води, а її парів, сформованих за допомогою відповідної системи змішування. Запалювання такої пароповітряної суміші здійснюється стандартною свічкою, однак із більшим міжелектродним зазором, що дозволяє підвищити напругу та енергію розряду.

Станом на сьогодні водяний двигун як можливий тип енергетичної установки для транспортних засобів чи стаціонарних систем залишається предметом інтенсивних наукових досліджень і професійних дискусій у сфері альтернативної енергетики. Його концептуальна основа полягає у використанні води або водяної пари як джерела енергії для отримання механічної роботи. Водяне паливо має високу енергетичну щільність, що дозволяє автомобілю проїздити довгі відстані на одному заправленні.

Попри те, що такі системи ще не набули широкого практичного чи комерційного застосування через наявні технічні та економічні бар’єри, інтерес до них з боку науковців і інженерів не зменшується. Це зумовлено їхнім потенціалом у скороченні шкідливих викидів та зменшенні залежності від традиційних нафтових ресурсів.

Ідея використання води як палива зберігає свою актуальність у сфері досліджень альтернативної енергетики. Мрія про автомобіль на воді залишається живою, нагадуючи про величезний потенціал наукових досліджень і людської уяви.

**Список використаних джерел**

1. Куць Н. Двигун на воді для автомобіля: шлях до чистих інновацій // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2024. DOI: https://doi.org/10.36910/automash.v2i23.1534

2. Лісовал А. А. Передумови використання водню в Україні в енергетичній та автомобільній галузях. 2023. URL: https://repository.kpi.kharkov.ua/items/

3. Дуб М. М. Водневі енергетичні установки автомобілів: перспективи розвитку. 2025. URL: https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/16a4be54-365e-4cee-836b-b4aeba34c1cb

***Куць Надія Григорівна*** **–** кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет e-mail: kuts.nadia86@gmail.com. https://orcid.org/0000-0003-1934-7189

***Nadiia Kyts*** **–** PhD in Engeneering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: kuts.nadia86@gmail.com. https://orcid.org/0000-0003-1934-7189

УДК 656.073

**Кушнір Д.Е.**

# ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ РІЗНИХ ВИДІВ І ТИПІВ ДЛЯ ДОСТАВКИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ» ПРИ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

*Запропоновано розглядати варіанти впровадження дронів для оптимізації доставки останньої милі. Надано проблематику та ідею для втілення цієї моделі комбінованої доставки.*

***Ключові слова:*** *остання миля, дрони, вантажівка-дрон.*

*It is proposed to consider options for deploying drones to optimise last-mile delivery. It outlines the challenges and presents a concept for implementing this combined delivery model.*

***Keywords****: last mile, drones, drone truck.*

Сучасна логістична галузь переживає фундаментальну трансформацію, в якій концепція «останньої милі» — завершального етапу доставки товарів кінцевому споживачеві — стає все більш актуальним елементом перевезення для реалізації потенціалу розвитку технологій. Зростання електронної комерції, урбанізація міст та зростаючий попит споживачів на швидшу доставку замовлень змушують компанії шукати інноваційні рішення та нові підходи до вже звичних етапів роботи. Безпілотні літальні апарати (БПЛА), або дрони, розглядаються як один з найперспективніших інструментів для вирішення проблеми міських заторів, високих експлуатаційних витрат та необхідності безконтактної доставки при вантажних перевезеннях.

Використання дронів у вантажних перевезеннях не є однорідним процесом; воно охоплює широкий спектр типів літальних апаратів — від невеликих мультироторів для міського середовища до складних гібридних систем для міжміських маршрутів. Також враховуючи місцевість та ціль доставок можливе використання не лише повітряних, але і наземних або надводних типів дронів, «бум» розвитку яких відбувається саме зараз.

Одним із ключових факторів, що визначають успіх доставки «останньої милі» за допомогою дронів, є рівень прийняття цієї технології серед кінцевих споживачів. Готовність клієнтів використовувати такі послуги залежить від балансу між очікуваними перевагами та сприйнятими ризиками.

Основними рушійними силами впровадження є швидкість доставки та переваги безконтактного обслуговування, що стало особливо актуальним в останні роки. Споживачі високо цінують екологічну ефективність дронів, очікуючи зменшення вуглецевого сліду порівняно з традиційними дизельними фургонами. Однак актуальність питання доставки «останньої милі» тісно пов’язана з громадським сприйняттям. Існує декілька вагомих аспектів які необхідно врахувати при реалізації дронової доставки. Психологічний дискомфорт є однією з головних перепон, адже багато людей сприймають дрони як загрозу своїй конфіденційності через використання камер під час польоту. Також є необхідність встановлення нових правил дорожнього руху (повітряного руху) для регулювання взаємодії між комерційними дронами, приватною авіацією та міською інфраструктурою. А специфічний високочастотний шум дронів буде створювати шумове перевантаження, що вимагає розробки нових конструкцій пропелерів. Окрім цього існують і наступні проблеми:

1. Ризики конфіденційності: занепокоєння населення щодо використання камер на дронах у житлових районах.

2. Безпека польотів: можливість певних технічних несправностей або потенційного скидання вантажу в густонаселених районах.

3. Шумове забруднення: Акустичний вплив одночасно великої кількості БПЛА в міському середовище залишається відкритим питанням, яке потребує регулювання.

4. Фінансові ризики: Питання щодо страхування вантажів та відповідальності за пошкодження майна під час доставки дронами.

Розуміння цих факторів має вирішальне значення для розробки стратегій масштабування послуг, оскільки навіть ідеальна технічна модель може зазнати невдачі без соціального сприйняття [1].

Для ефективної доставки використовуються різні типи дронів, кожен з яких має свої переваги залежно від географічних та інфраструктурних умов. У науковій літературі виділяється кілька основних категорій:

1. Мультикоптери (квадрокоптери тощо): найпоширеніший тип для міської доставки завдяки можливості вертикального зльоту та посадки та здатності зависати в повітрі на деякий час. Вони ідеально підходять для точної доставки в обмеженому просторі, але мають обмежену дальність польоту через високе енергоспоживання.

2. БПЛА з фіксованим крилом: вони мають значно збільшену дальність польоту та швидкість, що дозволяє використовувати їх для доставки у віддалені або сільські райони. Однак вони потребують спеціальних місць для зльоту та посадки.

3. Гібридні системи: вони поєднують в собі переваги обох типів, забезпечуючи енергоефективний горизонтальний політ та можливість вертикальної посадки.

Вибір типу дрона безпосередньо впливає на логістичну модель: чи буде це пряма доставка зі складу, чи комбінована схема «вантажівка-дрон», де транспортний засіб служить мобільною базою для кількох дронів [2].

Важливою сферою досліджень є розробка алгоритмів маршрутизації для змішаних автопарків. Використання дронів у поєднанні з традиційними транспортними засобами може значно підвищити ефективність.

Основна ідея полягає в тому, що вантажівка перевозить основну частину посилок і служить точкою запуску для дронів, які здійснюють остаточну доставку до дверей клієнта, поки вантажівка рухається до наступної зупинки. Це дозволяє:

1. Уникати заторів, що збільшує продуктивність та знижує як експлуатаційні витрати, так і витрати часу на доставку.

2. Зменшувати загальний пробіг транспортних засобів, що призводить як до зменшення витрат на обслуговування транспорту, так і до зменшення шкудливих викидів в умовах щільної міської забудови..

3. Мінімізувати час простою транспортних засобів підприємства [3].

Так, електрична енергія також провокує викиди під час виробництва, проте використання дронів з їх батареями дозволить перенаправити викиди від забудови міст з великою кількістю населення до віддалених регіонів, що позитивно вплине на атмосферу міст.

Гібридні моделі доставки «Вантажівка-Дрон» може виступати як рішення енергетичних обмежень. Однією з головних проблем у впровадженні цієї технології є подолання «бар'єру акумуляторів». Оскільки ємність акумуляторів дронів обмежена, найбільш життєздатна модель передбачає запозичення ідей з інших галузей, таких як використання вантажівок як мобільних платформ для дронів — подібно до підходу, який застосовувався під час введення авіаносців до складу ВМС. У цьому випадку вантажівка служитиме базовою станцією або носієм дронів. Вантажівка перевозитиме групу дронів ближче до зони доставки, запускатиме їх, заряджатиме та забиратиме після завершення місії. Впровадження цього підходу може допомогти вирішити кілька проблем, пов'язаних з розгортанням комбінованої системи доставки. Це значно розширить робочий діапазон малих дронів та зменшить втрати часу через затори вантажівок, оскільки парк дронів зможе обслуговувати клієнтів у межах кількох кілометрів від основного маршруту транспортного засобу. Такий підхід до розгортання дронів також допоможе мінімізувати кількість необхідних наземних вузлів, тим самим зменшуючи потребу в капітальних інвестиціях у створення інфраструктури для підтримки парку дронів. Цей підхід можна використовувати з різними типами дронів залежно від місцевості та конкретних завдань, зокрема, цю комбінацію можна використовувати з наземними або водними дронами [4].

Доставка дронами вимагає врахування набагато більшої кількості змінних, ніж традиційна логістика, що дозволяє залучати новітні технології у сфері штучного інтелекту для швидких розрахунків та адаптації наявних маршрутів з урахування параметрів від яких залежить

функціонування БПЛА. Зокрема такими параметрами під час повітряної доставку будуть виступати швидкість і напрямок вітру, які безпосередньо впливають на час роботи акумулятора, динамічні заборонені для польотів зони, а також пріоритетність певних вантажів (наприклад, термінові медичні товари).

Сучасні алгоритми дозволяють системі самостійно навчатися та оптимізувати маршрути в режимі реального часу. Це перетворює логістичну мережу на «живий» механізм, здатний миттєво адаптуватися до змін у навколишньому середовищі, що було б неможливо за ручного керування.

Запропоновано розглянути використання новітніх технологій у розробці дронів різних категорій для реалізації їх використання у повсякденному використанню суспільством під час здійснення вантажних перевезень останньої милі для підвищення продуктивності підприємств та декарбонізації міст.

**Список використаних джерел**

1. Angela Stefania Bergantino, Giulio Fusco, Mario Intini, Innovating the last mile: Consumer acceptance and economic drivers of drone deliveries in urban logistics, Research in Transportation Business & Management, Volume 63, 2025, 101510, ISSN 2210-5395, https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2025.101510.

2. Giovanni Campuzano, Eduardo Lalla-Ruiz, Martijn Mes, Optimizing autonomous multimodal last-mile delivery systems with time windows: Analyzing trade-offs between drones, robots, and trucks, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 204, 2025, 104427, https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104427.

3. Lars Meyer-Waarden, Julien Cloarec, Stéphane Salgado, Vincent Favarin, Sustainable last-mile delivery: Understanding perceived benefits and risks of AI-automated delivery drones in France, Technological Forecasting and Social Change, Volume 226, 2026, 124576, ISSN 0040-1625, https://doi.org/10.1016/j.techfore.2026.124576.

4. Sebastian Schmidt, Adriana Saraceni, Consumer acceptance of drone-based technology for last mile delivery, Research in Transportation Economics, Volume 103, 2024, 101404, ISSN 0739-8859, https://doi.org/10.1016/j.retrec.2023.101404.

5. Omar Abou Kasm, Meredith Raymer, Ali Diabat, A drone-assisted last-mile delivery framework for shipment prioritization in post-disaster and high demand periods, Applied Mathematical Modelling, Volume 146, 2025, 116175, ISSN 0307-904X, https://doi.org/10.1016/j.apm.2025.116175.

***Кушнір Дмитро Едуардович*** — асистент кафедри транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 409, e-mail: krou.060999@gmail.com)

***Kushnir Dmytro Eduardovich*** — Assistant, Department of Transport Technologies, Kharkiv National Automobile and Road University (61002, Kharkiv, Yaroslava Mudryho str., 25, room 409, e-mail: krou.060999@gmail.com)

УДК 621.355

**Латвинський В.Д., Багач Р.В.**

# АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТА ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ТВЕРДОТІЛЬНИХ АКУМУЛЯТОРІВ В ЕЛЕКТРОМОБІЛЯХ

*Представлене дослідження присвячене аналізу матеріалів і технологічних рішень для створення твердотільних акумуляторів. Розглянуто основні типи твердих електролітів та їх вплив на ефективність роботи. Особливу увагу приділено проблемам іонної провідності, міжфазного контакту та стабільності системи. Також проаналізовано переваги, недоліки та перспективи застосування твердотільних акумуляторів в електромобілях.*

***Ключові слова:*** твердотільний акумулятор, електромобіль, твердий електроліт, літій-іонні батареї, швидка зарядка

*The presented study is devoted to the analysis of materials and technological solutions for the creation of solid-state batteries. The main types of solid electrolytes and their influence on the efficiency of work are considered. Particular attention is paid to the problems of ionic conductivity, interfacial contact and system stability. The advantages, disadvantages and prospects for the use of solid-state batteries in electric vehicles are also analyzed.*

***Keywords:*** *solid-state battery, electric vehicle, solid electrolyte, lithium-ion batteries, fast charging*

У процесі виготовлення акумуляторних батарей, як і будь-якої іншої технічної продукції чи під час виконання робіт і надання послуг, ключовим завданням є забезпечення максимально високого рівня якості на всіх етапах виробництва - від підбору матеріалів до фінального тестування готового виробу. Саме якість визначає не лише ефективність функціонування акумулятора, але й його надійність, безпеку та довговічність у реальних умовах експлуатації [1, 2].

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасних джерел енергії є твердотільні акумулятори. Твердотільний акумулятор являє собою різновид літієвого акумулятора, в якому замість традиційного рідкого або гелеподібного електроліту використовується твердий електроліт. Такий підхід відкриває нові можливості для підвищення ефективності та безпеки акумуляторних систем. Загалом, твердотільні акумулятори - це інноваційна технологія зберігання енергії, де функцію переносу іонів літію виконує тверда фаза.

Твердотільні електроліти можуть бути представлені різними класами матеріалів, зокрема твердими полімерними сполуками, неорганічними керамічними структурами або комбінованими (гібридними) матеріалами, що поєднують переваги обох підходів. Такі електроліти здатні ефективно проводити іони літію, забезпечуючи при цьому високу механічну міцність конструкції та хімічну стабільність у широкому діапазоні умов експлуатації. Це робить їх привабливими для використання в сучасних електротранспортних системах і портативній електроніці [3].

Метою даної роботи є детальний розгляд та аналіз матеріалів, що входять до складу твердотільних акумуляторів, а також оцінка їх впливу на експлуатаційні характеристики таких джерел живлення. Особлива увага приділяється властивостям електролітів, оскільки саме вони значною мірою визначають ефективність роботи акумулятора.

Твердий електроліт фактично є ключовим елементом твердотільної батареї, виконуючи роль середовища для транспорту іонів між електродами та замінюючи традиційні рідкі електроліти, що застосовуються у звичайних літій-іонних акумуляторах. Серед найбільш поширених матеріалів для виготовлення твердих електролітів можна виділити керамічні сполуки, зокрема ті, що базуються на літій-провідних оксидах, таких як цирконат літію-лантану або сульфідні матеріали на основі літію. Вони характеризуються високою іонною провідністю та стабільністю.

Окрім керамічних матеріалів, широко досліджуються полімерні електроліти, які можуть бути синтезовані з різноманітних полімерів. Вони здатні забезпечувати достатній рівень іонної провідності, водночас зберігаючи гнучкість і структурну цілісність системи. Такі матеріали є перспективними для створення гнучких і легких акумуляторів.

Розглядаючи переваги твердотільних акумуляторів, варто відзначити кілька ключових аспектів. По-перше, це підвищений рівень безпеки: відсутність легкозаймистих рідких компонентів суттєво зменшує ризик виникнення пожеж або вибухів. По-друге, такі акумулятори можуть забезпечувати вищу щільність енергії, що дозволяє накопичувати більшу кількість електричної енергії при тих самих габаритах. Це особливо важливо для електромобілів та портативних пристроїв [3].

Крім того, твердотільні акумулятори демонструють покращену циклічну стабільність, тобто здатність зберігати свої характеристики протягом великої кількості циклів заряджання та розряджання. Висока хімічна та механічна стійкість матеріалів сприяє зменшенню деградаційних процесів. Також важливою перевагою є їх здатність ефективно працювати в широкому температурному діапазоні - як при підвищених, так і при знижених температурах, що розширює сферу їх застосування [4, 5].




Рисунок 1 – Порівняння літій-іонного та твердотільного акумуляторів

Таким чином, твердотільні акумулятори є перспективною альтернативою традиційним літій-іонним системам, оскільки поєднують у собі підвищену безпеку, енергоємність і довговічність, що робить їх одним із ключових напрямів розвитку сучасної енергетики.

Серед основних недоліків твердотільних акумуляторів доцільно виділити кілька ключових аспектів, що стримують їх широке впровадження у промисловість та масове використання.

Насамперед, це висока вартість виробництва. Процес виготовлення твердотільних електролітів є технологічно складним і вимагає використання дорогих матеріалів та високоточного обладнання. Крім того, складність контролю структури та властивостей таких матеріалів на мікро- і нанорівні суттєво підвищує собівартість кінцевого продукту.

Іншим важливим фактором є недостатній рівень технологічної зрілості. Незважаючи на значний науковий інтерес і активні дослідження у цій сфері, технології твердотільних електролітів все ще перебувають на етапі інтенсивного розвитку. Це пов’язано з наявністю низки невирішених інженерних і матеріалознавчих проблем, які обмежують їх стабільність і масштабованість у промислових умовах.

Також слід відзначити проблеми іонної провідності. Деякі типи твердотільних електро-

літів демонструють знижену здатність до переносу іонів літію, особливо за низьких температур. Це негативно впливає на ефективність роботи акумулятора в умовах холодного клімату, зменшуючи його ємність та швидкість заряджання.

Окрему увагу варто приділити проблемам міжфазного контакту. На межі поділу між твердим електролітом і електродами можуть виникати дефекти або підвищений контактний опір, що ускладнює перенесення іонів. У результаті це призводить до зниження загальної ефективності роботи батареї та прискорення її деградації.

Електродні матеріали в твердотільних акумуляторах зазвичай представлені літієвим металом або різноманітними літій-іонними сполуками. Вибір конкретного матеріалу електрода безпосередньо впливає на такі параметри, як щільність енергії, потужність і довговічність акумулятора. Зокрема, використання літій-металевих анодів дозволяє досягти дуже високої питомої ємності та енергетичної щільності, однак при неправильній експлуатації вони можуть створювати потенційні ризики безпеки [6].

Разом із тим, електроди, що застосовуються у твердотільних системах, мають низку суттєвих переваг. Вони характеризуються відносно простою внутрішньою структурою, високою електропровідністю та здатністю забезпечувати значну енергетичну щільність. Крім того, такі системи відзначаються підвищеною термічною стійкістю, вогнетривкістю та відсутністю легкозаймистих компонентів. Важливою перевагою є також значно вища швидкість заряджання - у кілька разів швидше порівняно з традиційними акумуляторами з рідкими електролітами. Термін служби таких батарей може досягати 10 років, що робить їх економічно привабливими в довгостроковій перспективі.

Отже, впровадження новітніх матеріалів і технологічних рішень у конструкцію твердотільних акумуляторів сприяє підвищенню їх якості, енергетичної ефективності та експлуатаційної надійності. Водночас, для їх широкого застосування необхідне подальше вдосконалення технологій виробництва та подолання існуючих технічних обмежень. Особливої актуальності ці розробки набувають у сфері електромобілів, де до акумуляторних систем висуваються підвищені вимоги щодо енергоємності, безпеки, швидкості заряджання та довговічності [7].

Застосування твердотільних акумуляторів у електромобілях дозволяє суттєво збільшити запас ходу транспортних засобів завдяки вищій щільності енергії, а також скоротити час заряджання, що є критично важливим фактором для масового впровадження електротранспорту. Крім того, відсутність рідких легкозаймистих електролітів значно підвищує рівень пожежної безпеки автомобілів, що особливо важливо в умовах інтенсивної експлуатації та можливих аварійних ситуацій.

Також, інтеграція інтелектуальних систем керування батареями (BMS) у поєднанні з новітніми матеріалами дозволяє оптимізувати процеси заряджання і розряджання, зменшити деградацію елементів та продовжити термін служби акумуляторних систем. У перспективі це сприятиме зниженню вартості володіння електромобілями та підвищенню їх конкурентоспроможності порівняно з традиційними транспортними засобами з двигунами внутрішнього згоряння.

Таким чином, розвиток твердотільних акумуляторів є одним із ключових факторів еволюції електромобільного транспорту, оскільки саме ці технології здатні забезпечити необхідний рівень ефективності, безпеки та надійності для подальшого поширення електромобілів у світі.

**Список використаних джерел**

1. Багач, РВ Перспективи подальшого вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів/РВ Багач//Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців: наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф., 27–29 жовт. 2021 р./Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т.–Харків, 2021.–С. 346–349. https://dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/f2cddad8-ee08-4314-831e-018403b09d23/content

2. Багач, Р. В., & Кальченко, О. О. (2023). Перспективи та розвиток літієвих акумуляторів

в Україні. In *Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Харків* (pp. 25-27). https://science.kname.edu.ua/images/dok/konferentsii/2023/Tezy_2023/Tezy_ET_23-25_10_23.pdf#page=31

3. Багач, Р.В. (2024) Перспективні технології твердотільних акумуляторів. Збірник тез та доповідей міжнародної конференції "Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії". 11–12 березня 2024 року – Харків: ФОП Бровін О.В., 2024. – 424 с. – С. 195-198. ISBN 978-617-8238-51-3. https://dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/491f140d-50d0-4577-a0c1-cbe6a89f5ae1/content

4. Латвинський, В. Д., & Багач, Р. В. (2024). Дослідження літій-іонних батарей для експлуатації електромобілями при різних температурних умовах. ISSN 2074-2630 Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика»№ 1 (30)'2024. https://elen.donntu.edu.ua/2074-2630-2024-1-58-64.pdf

5. Латвинський, В., Багач, Р., Плахтій, О., & Запорізький, В. (2025). Дослідження та оптимізація температурного режиму літій-іонних акумуляторів у складі тягової батареї електромобіля. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (27), 99–109. https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.27.0.7

6. Manthiram, A., Yu, X., & Wang, S. (2017). Lithium battery chemistries enabled by solid-state electrolytes. *Nature Reviews Materials*, *2*(4), 16103. https://www.nature.com/articles/natrevmats2016103

7. Albertus, P., Babinec, S., Litzelman, S., & Newman, A. (2018). Status and challenges in enabling the lithium metal electrode for high-energy and low-cost rechargeable batteries. *Nature Energy*, *3*(1), 16-21. https://www.nature.com/articles/s41560-017-0047-2

***Латвинський Владислав Дмитрович*** — асистент кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд.201, e-mail: latvin2000@gmail.com)

***Багач Руслан Володимирович*** — доктор філософії (PhD), доцент кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 201, e-mail: bagach.ruslan@gmail.com)

***Latvynskyi Vladyslav*** — Assistant of the Department of Automotive Electronics of Kharkov National Automobile and Highway University (61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo Street, 25, room 201, e-mail: latvin2000@gmail.com).

***Bahach Ruslan*** — Ph.D., associate professor of the Department of Automotive Electronics of Kharkov National Automobile and Highway University, (61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo Street, 25, room 201, e-mail: bagach.ruslan@gmail.com)

УДК 621.355

**Латвинський В.Д., Багач Р.В.**

# СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ

*Представлене дослідження зосереджено на аналізі інноваційних виробничих процесів, що застосовуються при створенні літій-іонних акумуляторів для електромобілів. У дослідженні розглядаються новітні підходи до синтезу електродних матеріалів, удосконалені методи складання акумуляторних осередків та впровадження передових технологічних рішень. Особлива увага приділяється сучасним методам нанесення покриттів та оптимізації ключових виробничих параметрів.*

***Ключові слова:*** *літій-іонні акумулятори, катодні матеріали, електромобіль, енергоємність, термін служби.*

*The presented research focuses on the analysis of innovative production processes used in the creation of lithium-ion batteries for electric vehicles. The study considers the latest approaches to the synthesis of electrode materials, improved methods of assembling battery cells and the implementation of advanced technological solutions. Special attention is paid to modern methods of coating and optimization of key production parameters.*

***Keywords:*** *lithium-ion batteries, cathode materials, electric vehicle, energy density, service life.*

Автомобільна галузь сьогодні перебуває на порозі масштабних і глибоких перетворень, які зумовлені активним переходом від традиційних двигунів внутрішнього згоряння до електричного транспорту. Ця трансформація є одним із ключових етапів розвитку сучасної індустрії, адже електромобілі забезпечують не лише зниження викидів шкідливих речовин, але й відкривають нові можливості для інтеграції інтелектуальних систем управління та відновлюваних джерел енергії. Центральну роль у цьому процесі відіграють літій-іонні акумуляторні батареї, які виступають основним джерелом енергії для сучасних електромобілів та визначають їхню ефективність, дальність ходу та економічну доцільність [1].

Водночас існуючі технології виробництва літій-іонних батарей мають низку суттєвих обмежень. До них відносяться недостатня енергомісткість, обмежений ресурс експлуатації, складність контролю якості матеріалів і технологічних процесів, а також високі витрати на виробництво. Ці фактори створюють потребу у постійному розвитку нових технологічних рішень і пошуку матеріалів з покращеними характеристиками, здатних задовольнити високі вимоги сучасного ринку електромобілів [1, 2].

У цій роботі розглядаються сучасні та перспективні підходи до виробництва літій-іонних акумуляторів, спрямовані на підвищення їх енергомісткості, довговічності та надійності. Новітні технології виготовлення батарей ґрунтуються на впровадженні інноваційних рішень, що дозволяють оптимізувати технічні параметри продукту та водночас підвищити економічну доцільність виробництва. До таких рішень належать комбіновані методи синтезу матеріалів, вдосконалені способи складання осередків батарей та інтеграція сучасних систем контролю якості на всіх етапах виробничого процесу.

Одним із ключових чинників, що визначають ефективність та довговічність літій-іонних акумуляторів, є якість матеріалів електродів - катодів та анодів. Використання сучасних хімічних композицій, зокрема нікель-кобальт-марганцевих (NCM) та нікель-кобальт-алюмінієвих (NCA) катодів, дозволяє суттєво підвищити ємність батарей і забезпечити стабільну роботу при багаторазових циклах заряджання та розряджання. Крім того, перспективними є аноди на основі кремнію, які, порівняно з традиційними графітовими, здатні акумулювати значно більшу кількість літію, що позитивно впливає на загальну енергомісткість і

тривалість експлуатації батарей.

Таким чином, поєднання інноваційних матеріалів із передовими виробничими технологіями створює умови для виробництва високоефективних літій-іонних акумуляторів, здатних відповідати сучасним вимогам електромобільної індустрії та сприяти прискоренню переходу до стійкого електротранспорту. Розвиток цих технологій відкриває нові перспективи для підвищення надійності, безпеки та економічної ефективності електромобілів у довгостроковій перспективі.




Рисунок 1 – Технологічний процес виробництва літій-іонних акумуляторів

Найбільш розповсюдженими технологіями в цій сфері є механічне змішування, екструзія, багатошарова збірка та інжекційне формування окремих елементів. Застосування цих методів дає змогу виготовляти ключові складові - аноди та катоди - з високим рівнем однорідності та покращеними електричними характеристиками, що є визначальним для ефективної роботи акумуляторів [3].

У процесі виготовлення анодів широко використовуються графіт і різні вуглецеві матеріали. Водночас, з метою підвищення енергомісткості та скорочення часу заряджання, активно досліджуються альтернативні рішення, зокрема матеріали на основі кремнію та перехідних металів.

Інноваційні підходи до розробки катодів, зокрема використання екологічно безпечніших сполук типу літій-залізо-фосфатів, відкривають нові можливості для зниження вартості виробництва та підвищення рівня безпеки готових акумуляторів.

Термін експлуатації літій-іонних батарей, що широко застосовуються у різних сферах, зокрема в мобільних пристроях, портативній електроніці та сучасних електромобілях, визначається комплексом факторів, які суттєво впливають на швидкість їх деградації та загальну ефективність протягом тривалого використання. До таких факторів належать як якість матеріалів, так і умови експлуатації, конструктивні особливості батарей та хімічні властивості компонентів [4].

Важливим аспектом оцінювання ефективності літій-іонних акумуляторів є аналіз процесів їх деградації в умовах реальної експлуатації. Зокрема, значний вплив на зміну технічних характеристик батарей мають кількість циклів заряджання-розряджання та температурний режим роботи. Зі збільшенням кількості циклів поступово знижується ємність акумулятора, що зумовлено структурними змінами активних матеріалів електродів і накопиченням побічних продуктів електрохімічних реакцій.

Крім того, температура експлуатації істотно впливає на швидкість деградаційних процесів: при підвищених температурах прискорюються хімічні реакції, що призводить до швидшого старіння батареї, тоді як надто низькі температури погіршують іонну провідність електроліту та знижують ефективність роботи акумулятора. Таким чином, оптимізація температурних умов і режимів заряджання є одним із ключових завдань для забезпечення довговічності та надійності літій-іонних батарей [5, 6].

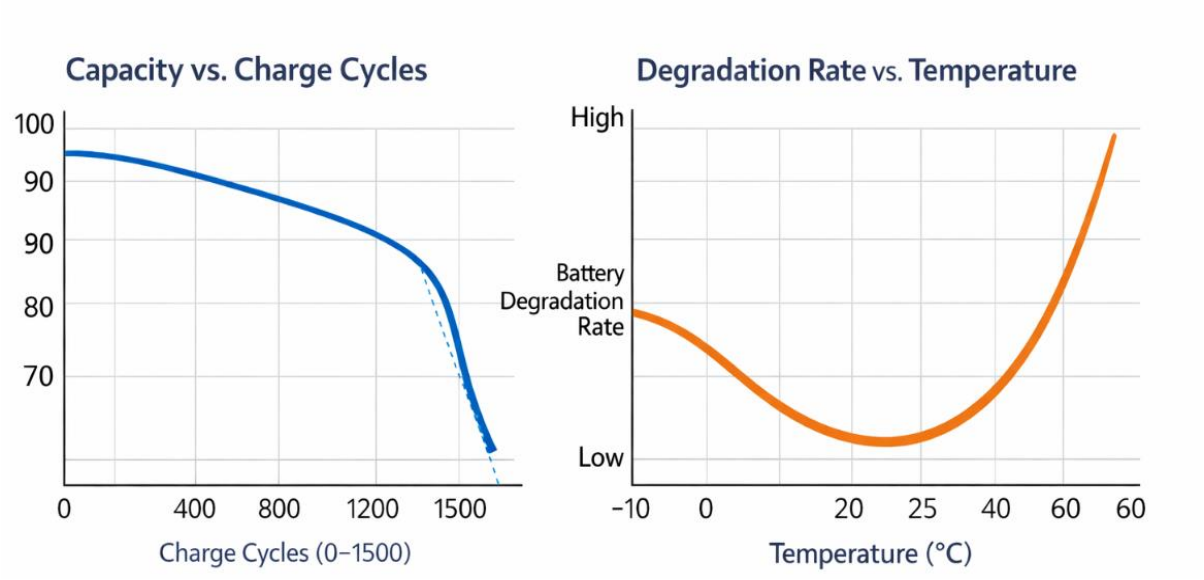



Рисунок 2 – Вплив циклів заряду-розряду і температури на акумулятор

Одним із ключових напрямів підвищення довговічності є застосування високоякісних активних матеріалів для анодів та катодів. Зокрема, використання вуглецевих нановолокон у анодах та різноманітних металевих оксидів у катодах дозволяє не лише збільшити ємність батарей, а й значно сповільнити процеси їх деградації при багаторазових циклах заряджання та розряджання. Введення графену до складу анодів покращує електропровідність, підвищує механічну стійкість та забезпечує захист від ефектів циклічного старіння, що сприяє суттєвому подовженню терміну служби батарей.

Не менш важливим компонентом є електроліт. Високоефективні електроліти з підвищеною стійкістю до окислення та високою іонною провідністю відіграють критичну роль у забезпеченні стабільності та надійності роботи акумуляторів. Додаткове застосування спеціальних добавок, таких як солі літію, дозволяє покращити стабільність електрохімічної системи в широкому діапазоні температур та знизити швидкість деградації матеріалів [5, 6].

Важливу роль відіграє також конструкція батареї. Товщина роздільників між елементами, геометрія осередків, щільність упаковки та інші конструктивні параметри безпосередньо впливають на тривалість служби та ефективність акумулятора. Зовнішні умови експлуатації - вологість, забрудненість повітря та наявність агресивних хімічних речовин - можуть прискорювати корозійні процеси та призводити до передчасного виходу з ладу окремих елементів батареї.

Сучасні технології виготовлення електродних матеріалів відкривають нові можливості для створення продуктів із покращеними характеристиками. Найбільший потенціал мають комбіновані підходи, які поєднують прецизійний синтез матеріалів із нанесенням захисних покриттів, що підвищує електрохімічну стабільність та механічну міцність електродів. Подальший розвиток цих технологій спрямований на оптимізацію виробничих процесів, підвищення відтворюваності характеристик продукції, а також зменшення собівартості, що є ключовим фактором для масового виробництва літій-іонних батарей високої якості.

**Список використаних джерел**

1. Багач, Р. В., & Кальченко, О. О. (2023). Перспективи та розвиток літієвих акумуляторів

в Україні. In *Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Харків* (pp. 25-27). https://science.kname.edu.ua/images/dok/konferentsii/2023/Tezy_2023/Tezy_ET_23-25_10_23.pdf#page=31

2. Багач, РВ Перспективи подальшого вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів/РВ Багач//Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців: наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф., 27–29 жовт. 2021 р./Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т.–Харків, 2021.–С. 346–349. https://dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/f2cddad8-ee08-4314-831e-018403b09d23/content

3. Seeba, J., Reuber, S., Heubner, C., Müller-Köhn, A., Wolter, M., & Michaelis, A. (2020). Extrusion-based fabrication of electrodes for high-energy Li-ion batteries. *Chemical Engineering Journal*, *402*, 125551.https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138589472031679X

4. Krupp, A., Beckmann, R., Diekmann, T., Ferg, E., Schuldt, F., & Agert, C. (2022). Calendar aging model for lithium-ion batteries considering the influence of cell characterization. *Journal of Energy Storage*, *45*, 103506.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X21011889

5. Латвинський, В. Д., & Багач, Р. В. (2024). Дослідження літій-іонних батарей для експлуатації електромобілями при різних температурних умовах. ISSN 2074-2630 Наукові праці ДонНТУ. Серія:«Електротехніка і енергетика»№ 1 (30). https://elen.donntu.edu.ua/2074-2630-2024-1-58-64.pdf

6. Латвинський, В., Багач, Р., Плахтій, О., & Запорізький, В. (2025). Дослідження та оптимізація температурного режиму літій-іонних акумуляторів у складі тягової батареї електромобіля. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (27), 99–109. https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.27.0.7

***Латвинський Владислав Дмитрович*** — асистент кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд.201, e-mail: latvin2000@gmail.com)

***Багач Руслан Володимирович*** — доктор філософії (PhD), доцент кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 201, e-mail: bagach.ruslan@gmail.com)

***Latvynskyi Vladyslav*** — Assistant of the Department of Automotive Electronics of Kharkov National Automobile and Highway University (61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo Street, 25, room 201, e-mail: latvin2000@gmail.com).

***Bahach Ruslan*** — Ph.D., associate professor of the Department of Automotive Electronics of Kharkov National Automobile and Highway University, (61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo Street, 25, room 201, e-mail: bagach.ruslan@gmail.com)

УДК 656.073.53

**Лебідь Є.М., Лебідь І.Г., Лужанська Н.О.**

# УПРАВЛІННЯ ДІЯЛЬНІСТЮ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ

*У роботі досліджено особливості управління діяльністю транспортних підприємств при перевезенні швидкопсувних вантажів у міжнародному автомобільному сполученні. Обґрунтовано підходи до оптимізації чисельності персоналу, тривалості транспортних операцій та забезпечення дотримання температурного режиму. Визначено вплив організаційно-технологічних факторів на ефективність транспортного процесу та якість доставки вантажів.*

***Ключові слова*** *швидкопсувні вантажі, транспортне підприємство, міжнародні перевезення, транспортний процес, управління персоналом*

*The paper examines the features of transport enterprise management in the international road transportation of perishable goods. Approaches to optimizing staffing levels, duration of transport operations, and ensuring compliance with temperature conditions are substantiated. The influence of organizational and technological factors on transport process efficiency and cargo quality preservation is determined.*

***Key words:*** *perishable goods, transport enterprise, international transportation transport process, personnel management*

Процес управління транспортною діяльністю при здійсненні міжнародних перевезень швидкопсувних вантажів характеризується підвищеною складністю та передбачає залучення суб'єктів господарювання, спроможних забезпечити стабільність і належну якість транспортного обслуговування з урахуванням температурних, часових і санітарно-гігієнічних вимог. У даному контексті транспортне підприємство виступає центральною ланкою транспортного процесу, діяльність якого безпосередньо визначає рівень збереження споживчих властивостей вантажу на всіх етапах його переміщення. Таким чином, вибір перевізника розглядається як ключовий елемент організації зовнішньоторговельних операцій, що має ґрунтуватися на здатності підприємства виконувати специфічні вимоги до транспортування швидкопсувної продукції [1].

Особливістю перевезення швидкопсувних вантажів є необхідність жорсткої синхронізації операцій транспортного процесу, дотримання обмежених термінів доставки та забезпечення безперервного моніторингу параметрів середовища транспортування. Висока чутливість таких вантажів до затримок зумовлює потребу у реалізації комплексу взаємопов'язаних технічних, технологічних та організаційних заходів, що виконуються транспортним підприємством. До них належать підготовка спеціалізованого рухомого складу, оптимізація маршрутів перевезення, координація дій персоналу, а також впровадження систем оперативного контролю температурного режиму в режимі реального часу. Зазначені фактори безпосередньо впливають на структуру зайнятості працівників, тривалість виконання операцій та рівень навантаження на функціональні підрозділи підприємства.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка науково обґрунтованих підходів до управління ресурсним забезпеченням транспортного підприємства, зокрема визначення раціональної чисельності персоналу та нормування тривалості виконання транспортно-технологічних операцій. Реалізація таких підходів сприяє підвищенню точності планування часу виконання перевезень, мінімізації ризиків втрати якості продукції та оптимізації використання матеріально-технічних і трудових ресурсів [2-3].

Рівень ефективності міжнародних автомобільних перевезень швидкопсувної продукції

значною мірою визначається якістю організаційно-технологічного забезпечення транспортного процесу та технічним станом рухомого складу, оснащеного системами підтримання регламентованого температурного режиму. У цих умовах транспортне підприємство виконує функцію інтегратора перевізного процесу, забезпечуючи безперервність та надійність доставки за рахунок узгодженої взаємодії водіїв, логістів і інженерно-технічного персоналу.

Разом з тим, сучасний ринок перевезень швидкопсувних вантажів характеризується дефіцитом кваліфікованих кадрів, здатних забезпечити ефективну експлуатацію рухомого складу та організацію міжнародних перевезень. Недостатній рівень професійної підготовки персоналу або його вузька спеціалізація можуть призводити до порушення температурного режиму, збільшення тривалості транспортного циклу та виникнення технологічних відхилень. Наслідком таких порушень є погіршення техніко-експлуатаційних показників діяльності підприємства, зниження його конкурентоспроможності та формування репутаційних ризиків на міжнародному ринку транспортних послуг. Це обумовлює необхідність впровадження сучасних підходів до управління персоналом, орієнтованих на забезпечення високого рівня якості транспортно-технологічних операцій.

Аналіз практики функціонування транспортних підприємств свідчить про наявність суттєвих відмінностей у параметрах обслуговування різних категорій швидкопсувних вантажів. Зокрема, ці відмінності проявляються у вимогах до оформлення транспортно-супровідної документації, підготовки рефрижераторного обладнання, а також у специфіці виконання вантажно-розвантажувальних операцій із дотриманням індивідуальних температурних режимів.

Здатність транспортного підприємства забезпечувати високий рівень техніко-експлуатаційної надійності перевезень і відповідність міжнародним стандартам якості є визначальним чинником формування довгострокових партнерських відносин із замовниками. У межах своєї діяльності підприємство самостійно формує кадрову структуру, визначає параметри та склад рефрижераторного парку, а також обирає оптимальні напрями міжнародних перевезень, що забезпечує адаптацію транспортного процесу до вимог конкретних видів швидкопсувної продукції.

Застосування сучасних інформаційно-аналітичних систем і програмних комплексів дозволяє транспортним підприємствам здійснювати моніторинг техніко-експлуатаційних показників, прогнозувати обсяги перевезень, визначати тривалість транспортного циклу та рівень завантаження персоналу і рухомого складу. Це створює передумови для обґрунтованого планування потреби у кваліфікованих кадрах і спеціалізованих транспортних засобах із температурним контролем.

Комплексний аналіз діяльності транспортного підприємства забезпечує можливість виявлення організаційно-технічних недоліків та розробки ефективних заходів щодо підвищення результативності перевезень швидкопсувних вантажів у міжнародному сполученні. При цьому управління підприємством повинно базуватися на врахуванні таких параметрів, як структура парку транспортних засобів, інтенсивність надходження заявок, тривалість виконання операцій, а також імовірність виникнення затримок і технологічних відхилень. Особливого значення набуває врахування простоїв, пов’язаних із порушенням температурного режиму, затримками на пунктах пропуску та технічними несправностями холодильного обладнання, оскільки ці фактори істотно впливають на техніко-експлуатаційні показники діяльності підприємства та формують рішення замовників щодо вибору перевізника.

**Список використаних джерел**

1. Харченко О. І., Сакаль О. М., Карапиш А. С. Оптимізація розподілу рухомого складу при перевезеннях вантажів автомобільним транспортом. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2023. №26. С. 92–98.

2. Myroniuk O., Paslavskyi R., Sukach O., Shevchuk V. Assessment of refrigerator vehicles suitability for the transportation of perishable goods // Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agroengineering Research. 2024. Vol. 28.

3. Ковцур К.Г., Птиця Н.В., Пономарьов Д.А. Підвищення ефективності системи постачання швидкопсувних вантажів в напрямку республіка Польща-Україна в сучасних умовах. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2024. Т. 4, № 78. С. 27–30.

***Лебідь Євгеній Михайлович*** – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедри логістики та проєктного менеджменту Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 439, e-mail: eugene.lebed@gmail.com).

***Лебідь Ірина Георгіївна*** – канд.техн.наук, професор, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 437, e-mail: i.h.lebed@gmail.com).

***Лужанська Наталія Олександрівна*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 437, e-mail: Natali.Luzhanska@gmail.com).

***Lebid Ievgenii*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Logistics and Project Management of National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, room 439, e-mail: eugene.lebed@gmail.com).

***Lebid Iryna*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Professor, Professor of the Department of International Transportation and Customs Control of National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, room 437, e-mail: i.h.lebed@gmail.com).

***Luzhanska Nataliia*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transportation and Customs Control of National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, room 437, e-mail: Natali.Luzhanska@gmail.com).

УДК 656.078.1

**Макаров В.А., Савенок Д.В., Мастепан С.М.**

# ОРГАНІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПОСЛУГ АВТОСЕРВІСУ

*Формування системи планування та моніторингу процесів постачання та зберігання матеріальних ресурсів для виробництва послуг на підприємстві автосервісу. Представлено математичну модель оцінки функціонування системи матеріально-технічного забезпечення процесів виробництва послуг з технічного обслуговування та ремонту автомобілів.*

***Ключові слова:*** *автомобіль, послуги автосервісу, стабільність виробництва, матеріальні ресурси, постачання, використання, моніторинг, оцінка, математична модель.*

*Formation of a system for planning and monitoring the processes of supply and storage of material resources for the production of services at a car service enterprise. A mathematical model for assessing the functioning of the system of material and technical support for the production of services for technical maintenance and repair of cars is presented.*

***Key words:*** *car, car service services, production stability, material resources, supply, use, monitoring, assessment, mathematical model.*

В умовах функціонування підприємств автосервісу в конкурентному середовищі основною метою їх діяльності є досягнення достатнього та стабільного в часі прибутку. Економічна ефективність виробництва послуг з технічного обслуговування (ТО) та ремонту автомобілів визначається різницею доходу від надання послуг споживачам – власникам автомобілів та витрат на їх виробництво і реалізацію.

Важливою складовою загальних витрат є використання матеріальних ресурсів в процесах ТО та ремонту та їх якість і відповідність нормативним, плановим об’ємам витрат.

На економічні показники роботи підприємств автосервісу суттєво впливають, з однієї сторони, витрати пов’язані з придбанням і зберіганням запасів матеріальних ресурсів, які гарантують безперебійну роботу виробничої системи підприємства, збільшенням часу виконання робіт із-за несвоєчасного постачання матеріальних ресурсів, з іншої сторони, це може призвести до втрат споживачів і до подальшого зниження ефективності діяльності.

Процес управління постачанням, зберіганням матеріальних ресурсів і ефективністю їх використання повинен включати встановлення видів ресурсів, узгодження умов постачання з постачальниками, контроль якості ресурсів та термінів подання їх на підприємство.

Система матеріально-технічного забезпечення процесів ТО та ремонту автомобілів на підприємстві з метою підвищення ефективності виробництва якісних послуг потребує чіткої організації та функціонування системи контролю, моніторингу виробничих процесів на підприємстві, її відповідності стану та вимогам зовнішнього середовища (стану ринків послуг автосервісу та матеріальних ресурсів, вимогам нормативних документів тощо).

При формуванні системи нормування та планування постачання, зберігання і використання матеріальних ресурсів для забезпечення стабільності протікання виробничого процесу необхідно враховувати вплив різнопланових факторів на процеси зміни технічного стану автомобілів в конкретних умовах функціонування в регіоні, стан ринку, якість матеріальних ресурсів, фінансові можливості підприємства, умови зберігання необхідних запасів матеріалів для забезпечення ефективності виробництва послуг та використання матеріальних ресурсів [1, 2, 3] (рис. 1).

Суттєвий вплив на процеси зношення складових частин автомобіля і на витрати матеріальних ресурсів на підтримання його технічного стану, працездатності, має зовнішнє середовище, в якому функціонують автомобілі (температура, вологість повітря в регіоні, наявність

абразиву в повітрі, рельєф місцевості, якість дорожнього покриття, інтенсивність руху на дорогах, навантаження на автомобіль та інші) [2, 4].

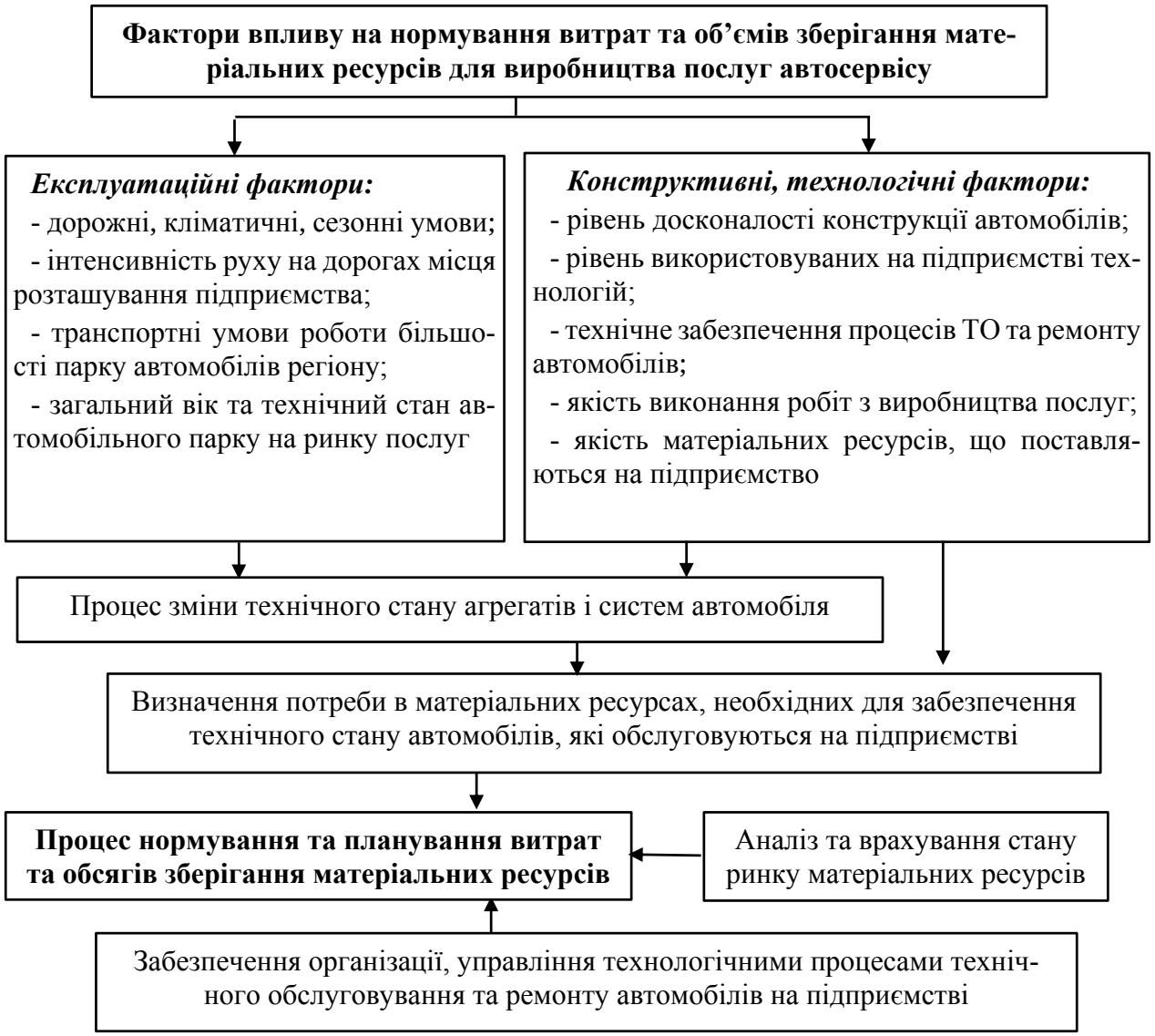



Рисунок 1 – Процес нормування та планування витрат та об'ємів зберігання матеріальних ресурсів на підприємстві

Методики та дії з контролю якості, термінів постачання, умов та об'ємів зберігання, ефективності використання запасних частин, матеріалів при проведенні ТО та ремонту автомобілів повинні бути об'єднані загальною системою моніторингу матеріально-технічного забезпечення процесів виробництва послуг. Система моніторингу повинна забезпечувати встановлення відхилень використання ресурсів від нормативних та планових показників витрат, забезпечувати ефективність витрат відповідними організаційними механізмами.

Дослідження ефективності використання матеріальних ресурсів, забезпечення якості виробництва послуг автосервісу потребують детальнішого опрацювання, а саме:

- визначення, корегування норм витрат матеріальних ресурсів на одиницю послуги;
- нормування та планування показників енергоємності послуг за всією номенклатурою;
- встановлення взаємозв'язку якості матеріальних ресурсів з економічними результатами діяльності підприємства;
- організація робіт із контролю та забезпеченню якості технологічних процесів;
- встановлення причин втрат якості послуг автосервісу та ефективності виробництва і

його наслідків, при невідповідному матеріально-технічному забезпеченні;

- контроль та аналіз виконання норм витрат матеріалів для виявлення можливості підвищення ефективності виробництва послуг;
- забезпечення загального управління процесами постачання, зберігання та використання запасних частин, експлуатаційних матеріалів у виробничому процесі підприємства;
- розробка методів оперативного контролю, моніторингу процесів постачання матеріальних ресурсів, виявлення втрат виробництва від невідповідного їх постачання;
- нормування обігових коштів для своєчасного забезпечення виробництва ресурсами.

Систему забезпечення та моніторингу виробничого процесів ТО та ремонту автомобілів матеріальними та енергетичними ресурсами можна схематично представити моделлю (рис. 2).

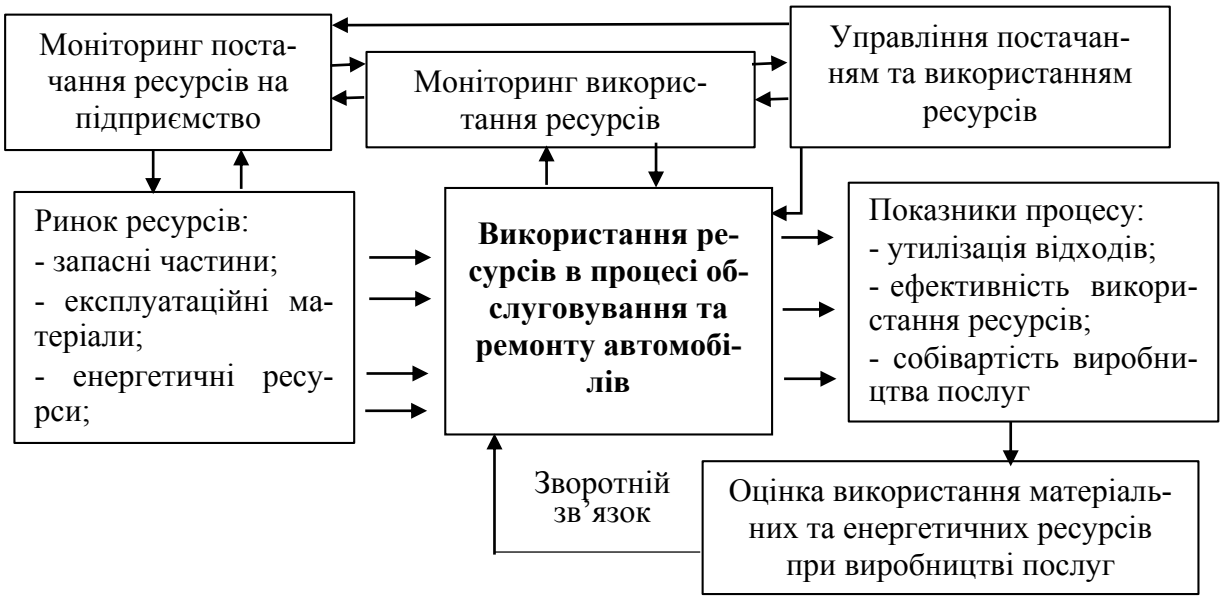



Рисунок 2 – Схема функціонування системи матеріально-технічного забезпечення підприємства автосервісу

В процесі моніторингу функціонування системи матеріально-технічного забезпечення процесів виробництва послуг автосервісу важливо оцінювати рівень та якість використання ресурсів з застосуванням показників оцінки стану та рівня системи.

Важливим показником для вибору об'єктів моніторингу функціювання системи матеріального забезпечення процесів виробництва послуг є матеріалоємність послуги $B_{мj}$, яка показує величину (долю) матеріальних витрат, що приходяться на 1 гривню загальних витрат на виробництво $j$ –ї послуги автосервісу (собівартість послуги):

$$B_{мj} = \sum_{i=1}^{n} W_{mi} \Big/ W_p, \quad (1)$$

де $\sum_{i=1}^{n} W_{mi}$ – сума витрат за всіма $n$ матеріалами, що були використані при виробництві конкретної $j$ –ї послуги автосервісу;

$W_p$ – загальні витрати на виробництво $j$ –ї послуги автосервісу (витрати матеріалів, енергії, праці та інші).

Матеріаловіддача при виробництві $j$ –ї послуги (характеризує вихід доходу з кожної грн. витрачених на закупівлю, зберігання матеріальних ресурсів:

$$M_{вj} = D_j \Big/ \sum_{i=1}^{n} W_{mi}, \quad (2)$$

де $D_j$ – обсяг доходів підприємства від реалізації $j$ –го виду послуги за номенклатурою.

Коефіцієнт використання $i$-го матеріального ресурс $K_{mi}$ в процесі виробництва послуг

характеризує рівень ефективності використання матеріального ресурсу за номенклатурою, дотримання нормативних значень витрати на виробництво послуг і визначається за формулою:

$$K_{mi} = {C_{mi}^{f}}/{C_{mi}^{p}}, \quad (3)$$

де $C_{mi}^{f}$ – загальні фактичні витрати *i*-го матеріального ресурсу в процесі виробництва послуг за плановий період (квартал, рік), грн;

$C_{mi}^{p}$ – загальні заплановані витрати *i*-го матеріального ресурсу на той же період, грн.

Наведені показники об'єктивно характеризують ефективність використання матеріальних ресурсів при виробництві послуг з ТО та ремонту транспортних засобів.

**Список використаних джерел**

1. Гарник М. Теоретичні аспекти використання матеріальних ресурсів промислових підприємств. Наука й економіка. 2011. № 1(21). С. 121–123.

2. Курніков І. П. Управління запасами в автосервісі в умовах невизначеності попиту // Автошляховик України, №1, 2002. – С. 15-17.

3. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Організація і управління: підручник. К.: Знання-Прес, 2004. 478 с.

4. Планування запасів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://web.archive.org/web/20090302053332/http://www.logist.org.ua/modules.php?name=Plan.

***Макаров Володимир Андрійович*** **–** доктор. техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3222, e-mail: makarov@vntu.edu.ua).

***Савенок Дмитро Валерійович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу Луганського національного університету імені Тараса Шевченка (36003, м. Полтава, вул. Івана Банка, 3, e-mail: optimus_27@ukr.net).

***Мастепан Сергій Миколайович*** **–** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів, Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, e-mail: mastepansm@gmail.com.ua).

***Makarov Volodymyr*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic Street, room 3222, e-mail: makarov@vntu.edu.ua).

***Savenok Dmytro*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Department of Vocational Education, Restaurant and Tourism Business, Luhansk Taras Shevchenko National University (36003, Poltava, Ivana Banka Street, 3, e-mail: optimus_27@ukr.net).

***Mastepan Serhii*** **–** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department of technical operation and service of cars, Kharkiv National Automobile and Road University (61002, Kharkov, Yaroslav Mudryj, 25. e-mail: mastepansm@gmail.com.

УДК 629.113.004

**Мармут І.А.**

# ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ З РОЛИКАМИ СТЕНДА НЕСИМЕТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИ ГАЛЬМУВАННІ

*Дослідження сил взаємодії у кинетостатичній моделі системи «автомобіль-стенд» інерційного роликового стенда дозволяє визначити конструктивні параметри блоку роликів, а також допомагає оптимально розподілити інерційні маси між роликами інерційного стенда. Щоб виключити прослизання коліс щодо роликів, загальна інерційна маса повинна розподілятися між роликами стенда відповідно до розподілу нормальних реакцій.*

***Ключові слова:*** *роликовий стенд, гальмівна система, коєфіцієнт використання навантаження, сили взаємодії.*

*The study of the interaction forces in the kinetostatic model of the "car-stand" system of an inertial roller stand allows us to determine the design parameters of the roller block, and also helps to optimally distribute the inertial masses between the rollers of the inertial stand. To eliminate wheel slippage relative to the rollers, the total inertial mass must be distributed between the rollers of the stand in accordance with the distribution of normal reactions.*

***Key words:*** *roller stand, brake system, load utilization factor, interaction forces.*

В даний час найбільше поширення отримали роликові стенди, при перевірці на яких кожне колесо спирається на два рівнобіжних ролики невеликого діаметра. Вони досить прості по конструкції, компактні, створюють високі сили зчеплення в контакті шини з роликом, забезпечують стійке положення автомобіля при гальмуванні без додаткових кріплень, дозволяють здійснювати перевірку в сталих чи динамічних режимах, на різних швидкостях. [1, 2]. Для гальмівних стендів оптимальною є несиметрична схема розташування роликів [3].

Стенд несиметричної схеми можна розглядати як стенд симетричної схеми, повернений до обрію на кут γ (рис. 1).

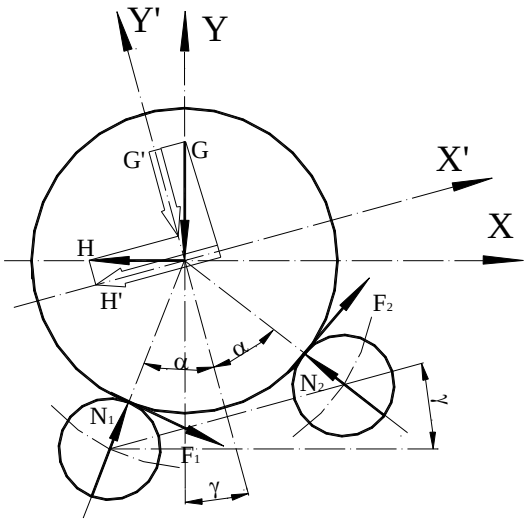



Рисунок 1 – Схема сил для стенда несиметричної схеми

Зовнішні сили:

$$G' = G \cdot \cos\alpha - H \cdot \cos\gamma, \quad (1)$$

$$H' = G \cdot \sin\alpha + H \cdot \cos\gamma. \quad (2)$$

Горизонтальна реакція $H$ [2]:

$$H = \frac{M \cdot K_{АС}}{r \cdot (1+\delta_к)} [\cos(\alpha + \gamma) + 2\delta_1 \cdot \sin\alpha \cdot \sin\gamma], \quad (3)$$

де $M$ – гальмівний момент, Н·м;

$K_{АС}$ – коефіцієнт пружного зв'язку автомобіля зі стендом;

$r$ – динамічний радіус шини в контакті з роликами;

$\delta_к = m_к / m_{ст}$ – відношення інерційної маси колеса до інерційної маси стенда;

$\delta_1 = m_1/(m_1 + m_2)$ – відношення інерційної маси переднього ролика до суми інерційних мас переднього і заднього роликів.

У свою чергу: $K_{АС} = \frac{1}{1+\frac{C_{СГ}}{C_{АГ}}} = \frac{1}{1+\frac{\lambda_{АГ}}{\lambda_{СГ}}}$,

де $C_{СГ}$ – твердість горизонтального зв'язку балки моста зі стендом;

$C_{АГ}$ – твердість горизонтального зв'язку балки з підлогою через автомобіль;

$\lambda = 1/C$ – податливість (величина, зворотна твердості)/

На несиметричному стенді змінюється подовжня податливість колеса (а отже, і $K_{АС}$):

$$\lambda_{СГ} = [\cos^2\gamma\,(\mathrm{tg}^2\alpha \cdot \mathrm{tg}^2\gamma + 1) - \sin 2\gamma \cdot \mathrm{ctg}2\alpha] \frac{\lambda_Р}{2\sin^2\alpha}, \quad (4)$$

де $\lambda_Р$ – радіальна податливість колеса на роликах.

Вертикальне навантаження на колесо:

$$G = G_{СТ} \pm M \cdot (1 - h \cdot r)/L. \quad (5)$$

де $G_{СТ}$ – вагове навантаження на колесо автомобіля, Н;

$h$ – відстань між роликами по вертикалі, м;

$L$ – колісна база автомобіля, м;

$\pm$, $\mp$ – позначка для перевірки гальм передніх або задніх коліс (верхня позначка відноситься до первірки передніх гальм).

У повернеій системі координат:

$$G' = \cos\gamma \left\{ G_{СТ} - M \left[ h \left( \mathrm{tg}\alpha \pm \frac{r}{L} \right) \mp \frac{1}{L} \right] \right\}, \quad (6)$$

$$H' = \sin\gamma \left\{ G_{СТ} + M \left[ h \left( \mathrm{tg}\alpha \mp \frac{r}{L} \right) \pm \frac{1}{L} \right] \right\}. \quad (7)$$

Досяжні значення коефіцієнтів використання навантаження (відповідно для переднього та заднього коліс):

$$q_1 = \frac{(1+\delta_к)\cdot\sin(\alpha+\gamma)}{2\delta_1 \cdot \sin^2\alpha \cdot \left(\frac{\mathrm{ctg}\alpha}{\varphi} - 1\right) + 1 - K_{АС} \cdot [2\delta_1 \cdot \sin\alpha \cdot \sin\gamma + \cos(\alpha+\gamma)] \cdot \cos(\alpha+\gamma)},$$

$$q_2 = \frac{(1+\delta_к)\cdot\sin(\alpha-\gamma)}{2(1-\delta_1)\cdot\sin^2\alpha \cdot \left(\frac{\mathrm{ctg}\alpha}{\varphi} + 1\right) - 1 + K_{АС} \cdot [2\delta_1 \sin\alpha \cdot \sin\gamma + \cos(\alpha+\gamma)] \cdot \cos(\alpha-\gamma)}. \quad (8)$$

де $\varphi$ – коефіцієнт зчеплення колеса з роликом стенда.

Оптимальний розподіл інерційних мас по роликах:

$$\delta_{1opt} = \frac{\left(\frac{1}{\varphi} + \mathrm{tg}\alpha\right)\cdot\sin(\alpha+\gamma) - \frac{\cos\gamma}{\cos\alpha} + K_{АС}\cdot\cos(\alpha+\gamma)}{2\sin\alpha \cdot \left[\frac{\cos\alpha}{\varphi} + \sin\gamma \cdot (1 - K_{АС})\right]}. \quad (9)$$

Діючі сили:

$$F_1 = \varphi \cdot N_1, \qquad F_2 = \frac{M}{(1+\delta_к)\cdot r} - \varphi \cdot N_1; \quad (10)$$

$$H = K_{АС} \cdot \left[ \frac{M \cdot \cos(\alpha+\gamma)}{(1+\delta_к)\cdot r} + N_1 \cdot \varphi \cdot 2\sin\alpha \cdot \sin\gamma \right], \quad (11)$$

$$H' = G_{СТ} \cdot \sin\gamma + K_{АС} \cdot \cos\alpha \cdot \left[ \frac{M \cdot \cos(\alpha+\gamma)}{(1+\delta_к)\cdot r} + N_1 \cdot \varphi \cdot 2\sin\alpha \cdot \sin\gamma \right], \quad (12)$$

$$G' = G_{СТ} \cdot \cos\gamma - K_{АС} \cdot \sin\alpha \cdot \left[ \frac{M \cdot \cos(\alpha+\gamma)}{(1+\delta_к)\cdot r} + N_1 \cdot \varphi \cdot 2\sin\alpha \cdot \sin\gamma \right], \quad (13)$$

$$N_1 = \frac{G_{CT}\cdot\sin(\alpha+\gamma)+\frac{M\cdot[K_{AC}\cdot\cos^2(\alpha+\gamma)-1]}{(1+\delta_к)\cdot r}}{\cos\alpha-\varphi\cdot[\sin\alpha+K_{AC}\cdot\sin\gamma\cdot\cos(\alpha+\gamma)]}\cdot\frac{1}{2\sin\alpha}, \quad (14)$$

$$N_2 = \frac{M}{\sin\alpha}\cdot\frac{\cos\alpha-K_{AC}\cdot\cos\gamma\cdot\cos(\alpha+\gamma)}{r\cdot(1+\delta_к)} - G_{CT}\cdot\frac{\sin\gamma}{\sin\alpha} + N_1\cdot(1-2\varphi\cdot\sin\gamma\cdot\cos\gamma\cdot K_{AC}). \quad (15)$$

Для загальної оцінки досяжної величини коефіцієнта використання навантаження можна користатися наступною формулою:

$$q \approx \frac{(1+\delta_к)\cdot\cos\gamma\cdot[1+\varphi\cdot tg\gamma+h\cdot(\varphi-tg\gamma)]}{\cos\alpha\cdot(1+\sin^3\gamma)\cdot\left[\frac{1}{\varphi}+\varphi\cdot(1-K_{AC})\right]}. \quad (16)$$

На рис. 2 представлена залежність коефіцієнта використання навантаження від кута γ для гальмівного стенда несиметричної схеми.

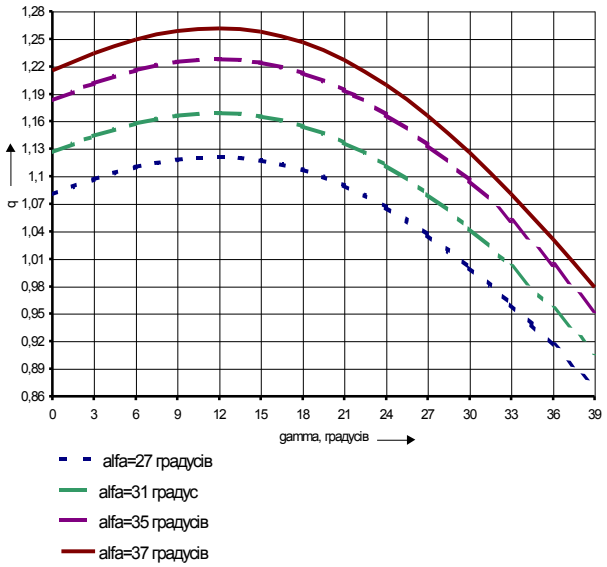



Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта використання навантаження від кута γ для гальмівного стенда несиметричної схеми

**Список використаних джерел**

1. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. ДСТУ 3649:2010. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, Держспоживстандарт України, 2011. 28 с. (Національні стандарти України).

2. 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.

3. Мармут І.А. (2018). Математичні моделі стендової діагностики гальмівних систем автомобілів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. Луцьк, 2(11), 90-96.

***Мармут Ігор Арнольдович*** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту ім. М.Я. Говорущенко Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, лабораторія технічної експлуатації, e-mail: mia2005.62@ukr.net).

***Ihor Marmut*** – Ph. D. in Engineering, Associate Professor of Motor Vehicle Transport Systems Engineering Department named after M.Ya. Govorushchenka, Kharkov National Automobile and Highway University (61002, Kharkov, Yaroslava Mudroho Street, 25, technical operation laboratory, e-mail: mia2005.62@ukr.net).

УДК 629.113

**Марчук М.М., Марчук Н.М., Яворський М.М.**

# ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРОВАНОГО РУХУ ДОВГОМІРНИХ НЕРЕЙКОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

*При комплектації довгомірних нерейкових транспортних засобів з існуючих причепів і напівпричепів або ж проектуванні нових транспортних засобів необхідно враховувати границю можливого їх використання за маневреністю.*

*Представлено аналіз способу забезпечення керованого руху довгомірних нерейкових транспортних засобів незалежно від напрямку та кривизни траєкторії їх руху.*

***Ключові слова:*** *автопоїзд, маневреність, ведуча ланка, ведена ланка, давач, кут зламу, габаритна смуга руху.*

*When assembling long-distance non-rail vehicles from existing trailers and semi-trailers or designing new vehicles, it is necessary to take into account the limit of their possible use in terms of maneuverability.*

*An analysis of a method for ensuring controlled movement of long-distance non-rail vehicles regardless of the direction and curvature of their trajectory is presented.*

***Key words:*** *road train, maneuverability, driving link, driven link, sensor, articulation angle, swept path width.*

Україна, ставши на шлях інтеграції в європейську та світову економічні системи, впроваджує в життя Програму створення і функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів. Завдяки географічному положенню України через її територію проходять чотири із дев'яти транс'європейських транспортних коридорів, в яких велика частка вантажів повинна мати здатність перевозитися багатоланковими довгомірними нерейковими транспортними засобами. Використання таких транспортних засобів повинно бути підтверджено не тільки прогресивним транспортним законодавством, але і вирішенням певних технічних проблем, спрямованих на забезпечення високої продуктивності такого рухомого складу і всього транспортного потоку. Основними з таких проблем є необхідність забезпечення максимальної відповідності такого транспортного засобу конкретним умовам експлуатації, можливості формування транспортних засобів великої вантажопідйомності з наявного рухомого складу без суттєвої зміни його конструкції. В даному випадку, для перевезення вантажів довгомірними нерейковими транспортними засобами чи не найголовнішим показником є маневреність.

Маневреністю автомобільних транспортних засобів (АТЗ) називають сукупність таких властивостей, які забезпечують безперешкодний рух їх по опорній поверхні, яка має обмеження як за площею, так і за формою [1]. Поряд з цим існують розроблені стадарти, що регламентують показники маневреності АТЗ. Так, об'єднаним комітетом конструкторів причепів і напівпричепів країн, що входять у ЄС, встановлена довжина сідельного автопоїзда на рівні 16,5 м, а зовнішній радіус його повороту – 13 м (при внутрішньому – 5,3 м). Водночас, у Директиві і рекомендаціях ЄЕК ООН відзначено, що такий автопоїзд повинен вписатися в поворот, обмежений відповідно радіусами 12,5 і 5,3 м [2]. Тому при комплектації автопоїздів з існуючих причепів і напівпричепів або ж проектуванні нових транспортних засобів необхідно враховувати границю можливого їх використання за маневреністю.

Для поліпшення показників маневреності довгомірного нерейкового транспортного засобу, цю задачу можливо вирішити шляхом зосередження уваги на частоті обертання коліс ведучої та ведених його ланок в режимах експлуатації та відповідному способі оптимального розподілу гальмівних зусиль між ведучою та веденою ланкою для випадку руху по криволінійній траєкторії з використанням передачі як переднього, так і заднього ходу.

На рис. 1 зображена блок-схема реалізації способу, що розглядається. Блок-схема включає в себе давачі частоти обертання коліс правого (Д1) 1 і (Д2) 2 та лівого (Д3) 3 і (Д4) 4 бортів ланок довгомірного нерейкового транспортного засобу, блоку управління (БУ) 5, який подає інформацію про регулювання тиску в гальмівних камерах коліс правого (ГКn) 6 і (ГКn+1) 7 та лівого (ГКm) 8 і (ГКm+1) 9 контуру бортів відповідно веденої ланки довгомірного нерейкового транспортного засобу.

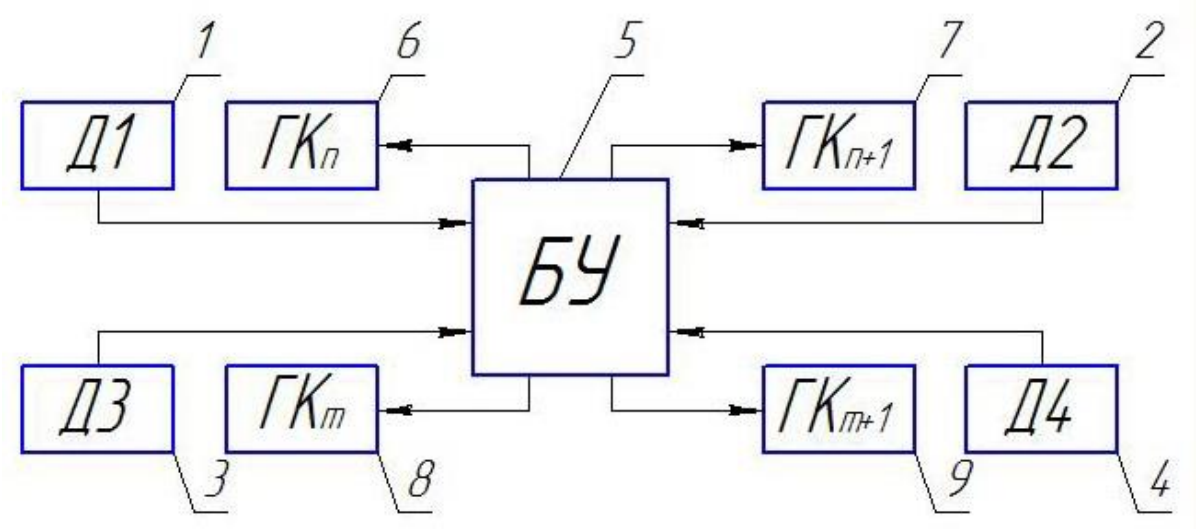



Рисунок 1 – Блок-схема способу забезпечення керованого руху довгомірного нерейкового транспортного засобу

Спосіб забезпечення керованого руху довгомірного нерейкового транспортного засобу здійснюється наступним чином. При його русі із використанням передачі переднього ходу та повороті наліво, колеса ланок такого транспортного засобу будуть обертатися з різною частотою, лівого борту – повільніше, а правого – з більшою частотою обертання. Інформація про зміну частоти обертання коліс від давачів (Д3) 3 і (Д4) 4 фіксується блоком управління (БУ) 5 і далі керуючий сигнал надходить до гальмівних камер контуру правого борту (ГКn+1) 7 веденої ланки, де за рахунок збільшення тиску, а разом з тим гальмівного моменту, колеса правого борту веденої ланки пригальмовують. При русі довгомірного нерейкового транспортного засобу із використанням передачі переднього ходу та повороті направо, колеса ланок такого транспортного засобу так само будуть обертатися з різною частотою, правого борту – повільніше, а лівого – з більшою частотою обертання. Інформація про зміну частоти обертання коліс від давачів (Д1) 1 і (Д2) 2 фіксується блоком управління (БУ) 5 і далі керуючий сигнал надходить до гальмівних камер контуру лівого борту (ГКm+1) 9 веденої ланки, де за рахунок збільшення тиску, а разом з тим гальмівного моменту, колеса лівого борту веденої ланки пригальмовують.

Для випадку руху довгомірного нерейкового транспортного засобу із використанням передачі заднього ходу описаний процес зчитування, обробки інформації та подачі керованих сигналів відбувається по “дзеркальному” принципу, тобто при повороті направо, колеса ланок такого транспортного засобу також будуть обертатися з різною частотою, лівого борту – повільніше, а правого – з більшою частотою обертання. Інформація про зміну частоти обертання коліс від давачів (Д3) 3 і (Д4) 4 фіксується блоком управління (БУ) 5 і далі керуючий сигнал надходить до гальмівних камер контуру правого борту (ГКn) 6 веденої ланки, де за рахунок збільшення тиску, а разом з тим гальмівного моменту, колеса правого борту веденої ланки пригальмовують. При русі довгомірного нерейкового транспортного засобу із використанням передачі заднього ходу та повороті наліво колеса ланок такого транспортного засобу так само будуть обертатися з різною частотою, правого борту – повільніше, а лівого – з більшою частотою обертання. Інформація про зміну частоти обертання коліс від давачів (Д1) 1 і (Д2) 2

фіксується блоком управління (БУ) 5 і далі керуючий сигнал надходить до гальмівних камер контуру лівого борту (ГКm) 8 веденої ланки, де за рахунок збільшення тиску, а разом з тим гальмівного моменту, колеса лівого борту веденої ланки пригальмовують.

При такому способі забезпечення керованого руху довгомірного нерейкового транспортного засобу отримуємо зменшення кута складання його ланок, які будуть переміщуватися по однаковій траєкторії, що в свою чергу сприятиме зменшенню габаритної смуги руху такого транспортного засобу незалежно від напрямку та кривизни траєкторії руху.

Запропонований спосіб забезпечення керованого руху довгомірного нерейкового транспортного засобу дозволяє йому маневрувати по оптимальній траєкторії в обмежених міських умовах, під час здійснення завантажувально-розвантажувальних робіт, що сприяє економії витрат пального та зменшенню викидів шкідливих сполук відпрацьованих газів.

**Список використаних джерел**

1. Волков В.П. Теорія руху автомобіля. – Суми : Університетська книга, 2010. – 320 с.
2. Directive 2002/7/EC of the European Parliament and of the Council of 18 February 2002 amending Council Directive 96/53/EC laying down for certain road vehicles the maximum authorized dimensions and weights // Official Journal of the European Communities. – 2002. – No. L67. – P. 47–49.

***Марчук Микола Михайлович*** **–** кандидат технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування (33000, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, ауд. 321, e-mail: m.m.marchuk@nuwm.edu.ua).

***Марчук Назар Миколайович*** **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування (33000, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, ауд. 321, e-mail: n.m.marchuk@nuwm.edu.ua).

***Яворський Марк Миколайович*** **–** здобувач 4-го курсу бакалаврського рівня вищої освіти кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування (33000, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, ауд. 321, e-mail: yavorskyi_m22@nuwm.edu.ua).

***Mykola Marchuk*** **–** candidate of technical sciences, Professor, Automobiles and Automotive Engineering Department, National University of Water and Environmental Engineering (33000, Rivne, O. Novak St., 77, room 321, e-mail: m.m.marchuk@nuwm.edu.ua).

***Nazar Marchuk*** **–** candidate of technical sciences, Associate Professor, Automobiles and Automotive Engineering Department, National University of Water and Environmental Engineering (33000, Rivne, O. Novak St., 77, room 321, e-mail: n.m.marchuk@nuwm.edu.ua).

***Mark Yavorskyi*** **–** 4th year bachelor's degree student of the Automobiles and Automotive Engineering Department, National University of Water and Environmental Engineering (33000, Rivne, O. Novak St., 77, room 321, e-mail: yavorskyi_m22@nuwm.edu.ua).

УДК 629.113

**Марчук М.М., Марчук Р.М., Дарморост І.М.**

# ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ КЕРОВАНОГО РУХУ МЕТРОБУСА

*Впровадження швидкісного автобусного транспорту є пріоритетним завданням для розвитку транспортної мережі багатьох густо населених міст. Метробус являє собою триланковий автобус, здатний одночасно перевозити значно більшу кількість пасажирів в порівняння з одиничним або ж дволанковим рухомим складом.*

*Представлено аналіз способу забезпечення керованого руху метробуса незалежно від напрямку та кривизни траєкторії їх руху.*

***Ключові слова:*** *метробус, маневреність, ведуча ланка, ведена ланка, давач, кут зламу, габаритна смуга руху.*

*The introduction of high-speed bus transport is a priority task for the development of the transport network of many densely populated cities. Metrobus is a three-link bus, capable of simultaneously transporting a significantly larger number of passengers compared to a single or two-link rolling stock.*

*An analysis of the method of ensuring controlled movement of metrobuses regardless of the direction and curvature of their trajectory is presented.*

***Key words:*** *metrobus, maneuverability, driving link, driven link, sensor, articulation angle, swept path width.*

Останнім часом у багатьох містах світу стали запроваджувати так звані «метробуси» або BRT (Bus Rapid Transit) системи, які стали більш дешевою альтернативою метрополітену та іншого рейкового транспорту, зокрема трамваїв.

Система BRT має ряд незаперечних переваг [1]:

- висока пасажиромісткість;
- висока швидкість пересування дозволяє метробусу перевозити вагому частку пасажиропотоку, що сприяє зменшенню кількості автомобілів на дорогах міста і, відповідно, зменшенню викидів відпрацьованих газів.

Зручність, безпека і організація дорожнього руху, що неодмінно покращується – це далеко не все, що зможе дати пасажирам система швидкісного автобусного транспорту. У цій системі метробуси пересуваються по спеціально виділених смугах, які відокремлені від проїжджої частини і обладнані закритими пасажирськими станціями з платформами на одному рівні і підземними переходами.

Особливої уваги заслуговують метробуси триланкової структури, які здатні перевозити одночасно більшу кількість пасажирів в порівнянні із одиничними чи дволанковими транспортними засобами. Таким чином, маючи триланкові автобуси, які рухаються з невеликим інтервалом, лінія метробусу може вирішити транспортні проблеми багатьох густо населених міст, тому вважаємо доречним вивчати цей досвід і переваги системи міського транспорту, можливості запровадження в Україні, адже поява метробусів допоможе витіснити маломісткі автобуси та перейти на більш прогресивну модель функціювання міського транспорту.

Нові розробки в галузі створення багатоланкових автотранспортних засобів і методик оптимізації їх конструкцій орієнтовані на мінімізацію витрат палива, енергії, поліпшення показників керованості та маневреності, що особливо важливо для метробусів [2]. Для триланкового метробуса у якості оціночних показників маневреності можемо приймати габаритну смугу руху, можливість рухатися заднім ходом у відповідності до встановлених законодавчих норм [3].

Для поліпшення показників метробуса, цю задачу можливо вирішити шляхом зосередження уваги на частоті обертання коліс ведучої та ведених його ланок в режимах експлуатації та відповідному способі оптимального розподілу гальмівних зусиль між ведучою та веденою ланкою для випадку руху саме по криволінійній траєкторії з використанням передачі як переднього, так і заднього ходу [4].

Поставлену задачу можливо вирішити тим, що у способі забезпечення керованого руху метробуса, який полягає у вимірюванні кута складання ланок транспортного засобу обладнаним давачем і регулюванні гальмівних зусиль на колесах його ланок при русі на повороті, блок-схема (рис.1) взаємодії двох ведених ланок з'єднаних тягово-зчіпним пристроєм реалізується обладнаним давачем, коли при русі вперед або заднім ходом і повороті наліво, визначена інформація про величину кута складання ланок транспортного засобу поступає на існуючий блок управління, через який регулюють тиск в гальмівних камерах коліс, а відтак пригальмовують колеса правого борту ведених ланок, тоді як для аналогічного руху транспортного засобу, але при повороті направо – обладнаним на тягово-зчіпному пристрої давачем, визначена інформація про величину кута складання ланок транспортного засобу поступає на існуючий блок управління, через який регулюють тиск в гальмівних камерах коліс, а відтак пригальмовують колеса лівого борту ведених ланок.

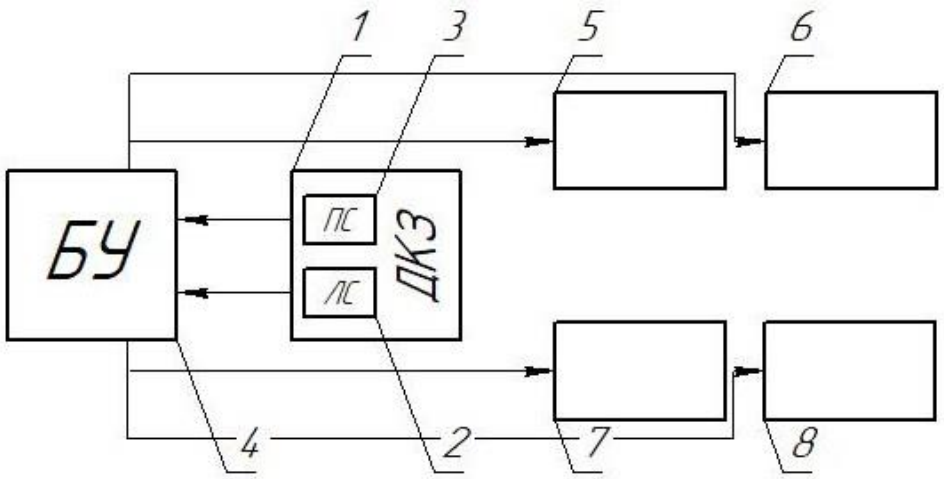



Рисунок 1 – Блок-схема способу забезпечення керованого руху метробуса

Блок-схема включає в себе давач кута зламу (ДКЗ) 1, що складається з лівої (ЛС) 2 та правої (ПС) 3 секцій, блоку управління (БУ) 4, який подає інформацію про регулювання тиску в гальмівних камерах 5 і 6 коліс правого борту ведених ланок, а також гальмівних камерах 7 і 8 коліс лівого борту ведених ланок транспортного засобу.

Спосіб забезпечення керованого руху метробуса, здійснюється наступним чином. При русі транспортного засобу вперед або заднім ходом та повороті наліво – із зростанням величини кута повороту керованих водієм коліс, величини кутів складання ланок будуть зростати. Інформація про величину кута складання ланок фіксується лівою секцією (ЛС) 2 давача (ДКЗ) 1, подається на блок управління (БУ) 4 і далі керуючий сигнал надходить до гальмівних камер 5 і 6 коліс правого борту ведених ланок, де за рахунок збільшення тиску, а разом з тим гальмівного моменту, колеса правого борту ведених ланок пригальмовуються. При аналогічному русі транспортного засобу вперед або заднім ходом, але повороті направо – із зростанням величини кута повороту керованих водієм коліс, величини кутів складання ланок також будуть зростати. Інформація про величину кута складання ланок фіксується правою секцією (ПС) 3 давача (ДКЗ) 1, подається на блок управління (БУ) 4 і далі керуючий сигнал надходить до гальмівних камер 7 і 8 коліс лівого борту ведених ланок, де за рахунок збільшення тиску, а разом з тим гальмівного моменту, колеса лівого борту ведених ланок пригальмовуються.

При такому способі забезпечення керованого руху метробуса, радіус повороту ведених ланок буде збільшуватися, а кути зламу між ланками і, як наслідок, габаритна смуга руху транспортного засобу будуть зменшуватися незалежно від напрямку та кривизни траєкторії руху.

Запропонований спосіб забезпечення керованого руху метробуса, дозволяє йому вписуватися в можливий вузький коридор на проїзній частині, не заїжджати на тротуари при повороті на поперечні вулиці. При такому способі отримуємо економію витрат пального, зменшення викидів токсичних відпрацьованих газів та забезпечення безпечних умов дорожнього руху для всіх його учасників.

**Список використаних джерел**

1. Омельницький О.Є. Аналіз конструкції метробусів // Автошляховик України. – 2018. – № 3. – С. 7–11.

2. Sakhno V., Murovanyi I., Poliakov V., Sharai S. Improving of transitway operating properties // *Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference (ICCPT 2019)*, May 28–29, 2019, Ternopil, Ukraine. – Ternopil, 2019. – P. 133–140.

3. Directive 2002/7/EC of the European Parliament and of the Council of 18 February 2002 amending Council Directive 96/53/EC laying down for certain road vehicles the maximum authorized dimensions and weights // Official Journal of the European Communities. – 2002. – No. L67. – P. 47–49.

4. Sakhno V.P., Marchuk M.M., Marchuk R.M. Study of long haul truck movement along the curvilinear trajectory while steering a carryall semi-trailer–container by braking the wheels of one axle // *INMATEH – Agricultural Engineering*. – Bucharest: National Institute of Research-Development for Machines and Installations Designed to Agriculture and Food Industry. – 2017. – Vol. 52, No. 2. – P. 107–112.

***Марчук Микола Михайлович*** **–** кандидат технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування (33000, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, ауд. 321, e-mail: m.m.marchuk@nuwm.edu.ua).

***Марчук Роман Миколайович*** **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування (33000, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, ауд. 321, e-mail: r.m.marchuk@nuwm.edu.ua).

***Дармороста Ігор Миколайович*** **–** магістрант кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування (33000, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, ауд. 321, e-mail: darmorost_m22@nuwm.edu.ua).

***Mykola Marchuk*** **–** candidate of technical sciences, Professor, Automobiles and Automotive Engineering Department, National University of Water and Environmental Engineering (33000, Rivne, O. Novak St., 77, room 321, e-mail: m.m.marchuk@nuwm.edu.ua).

***Roman Marchuk*** **–** candidate of technical sciences, Associate Professor, Automobiles and Automotive Engineering Department, National University of Water and Environmental Engineering (33000, Rivne, O. Novak St., 77, room 321, e-mail: r.m.marchuk@nuwm.edu.ua).

***Ihor Darmorost*** **–** master's degree student of the Automobiles and Automotive Engineering Department, National University of Water and Environmental Engineering (33000, Rivne, O. Novak St., 77, room 321, e-mail: darmorost_m22@nuwm.edu.ua).

УДК 656.078.1

**Мастепан М.А., Виноградов М.С., Макарова Т.В., Нежувака Л.В.**

# МОДЕЛЬ ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЦІНИ НА ТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ АВТОПІДПРИЄМСТВА

*Формування математичної моделі встановлення ціни за транспортні послуги в залежності від попиту та пропозиції на ринку послуг, яка буде прийнятною, найбільш рівноважною для виробника – автотранспортного підприємства і споживача послуг. Модель показує порядок взаємодії підприємства зі споживачами на ринку транспортних послуг.*

***Ключові слова:*** *математична модель, автомобіль, транспортні послуги, попит, пропозиція, стабільність виробництва, обсяг послуг, споживач, прийнятна ціна.*

*Formation of a mathematical model for setting prices for transport services depending on supply and demand in the services market, which will be acceptable, most balanced for the manufacturer - a motor transport company and the consumer of services. The model shows the procedure for interaction of the company with consumers in the transport services market.*

***Key words:*** *mathematical model, car, transport services, demand, supply, production stability, volume of services, consumer, acceptable price.*

Виробники та споживачі транспортних послуг в країні і в кожному регіоні окремо утворять ринок послуг, який характеризується такими ринковими поняттями як попит та пропозиція, якість та ціна послуг, рівень конкуренції та інші [1, 2].

Підприємству автомобільного транспорту для забезпечення ефективності свого функціонування важливо постійно проводити моніторинг та вивчення і аналіз стану ринку, динаміку його змін, з метою пошуку шляхів підвищення техніко-економічних показників роботи підприємства, економічного обґрунтування цін на транспортні послуги.

Для вирішення даного завдання бажано розробити та використовувати в процесах управління виробництвом формалізований метод моніторингу ринку послуг та процесів виробництва. Такий метод повинен забезпечувати функціонування механізму реакції на зміну ринкової ситуації в регіоні та своєчасного внесення змін в діяльність по удосконаленню процесів виробництва і раціоналізації взаємозв'язків підприємства зі споживачами послуг.

Важливою складовою такого механізму може бути математичну модель, яка поєднує ринок споживання транспортних послуг і виробничий процес автотранспортного підприємства. Основними характеристиками процесу перевезень пасажирів і вантажів є якість, своєчасність надання та ціна послуг. Модель повинна представляти собою економічне обґрунтування цін на перевезення, прийнятних і для споживача і для виробника послуг.

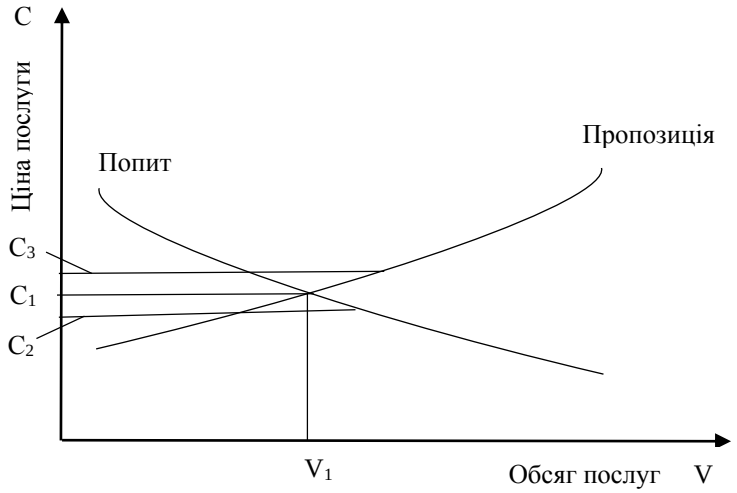
Модель повинна враховувати різні економічні ситуацій на ринку транспортних послуг, стан виробничої бази, умови функціонування виробництва на підприємстві.

Основними, первинними складовими елементами моделі повинні бути попит ринку на транспортні послуги і їх пропозиція підприємствами, що обслуговують даний ринок. Бажаними є такі взаємовідносини між споживачами і виробниками послуг, коли спостерігається рівновага між попитам і пропозицією. Основною характеристикою такої рівноваги є прийнятна для споживача і виробника ціна на транспортні перевезення.

Попит на послуги прийнято визначити як платоспроможну потребу в послузі. В економіці такий підхід називається законом попиту [2, 3]. Отже попит суттєво залежить від ціни за послугу, тобто є функцією ціни. Висока ціна зменшує попит (рис. 1) [1, 4].

Пропозиція транспортних послуг, в ринкових умовах господарювання, як правило, перевищує попит на них. Особливо така ситуація спостерігається в регіонах з розвинутою економікою. Виробники, які здійснюють перевезення, практично завжди працюють в умовах конкуренції і вони можуть та хочуть реалізувати більші обсяги перевезень. Причому пропозиція

суттєво залежить від ціни одиниці послуги (див. рис. 1).




$V_1$ – раціональне, рівноважне співвідношення попиту та пропозиції на ринку послуг;
$C_1$ – ціна за одиницю послуги, прийнятна для споживача і виробника;
$C_2$ – ціна за одиницю послуги при дефіциті попиту на них;
$C_3$ – ціна за одиницю послуги при перевищенні пропозиції послуг на ринку

Рисунок 1 – Формування ціни за транспортні послуги в залежності від попиту та пропозиції

Обсяг послуг $V_1$ є прийнятним для виробника, ціна $C_1$ буде найбільш рівноважною для підприємства і споживача послуг. Такий стан бажаний для кожного підприємства. В цьому випадку задоволені споживачі і максимально використовується потенціал підприємства в транспортних перевезеннях.

Виробнику послуг – підприємству часто для забезпечення ефективності транспортних перевезень, в зв'язку з підвищенням вартості експлуатаційних матеріалів, умов перевезень, часто приходиться піднімати ціну за послугу до рівня $C_3$. Але таке підняття повинне бути не суттєвим, оскільки для споживача підвищена ціна на послуги не завжди може бути прийнятною, і автотранспортне підприємство буде втрачати споживачів. Попит на послуги у підприємства буде падати.

Для залучення нових споживачів і збільшення обсягів перевезень підприємство, в межах ефективності свого функціонування, може знижувати ціну за транспортну послугу ($C_2$). Таке зниження ціни не повинне відбуватись за рахунок зниження їх якості: час виконання послуги, своєчасність, збереженість вантажу тощо.

Попит на транспортні перевезення в регіоні розташування підприємства формується в основному за рахунок обслуговування фізичних та юридичних осіб, що проживають або функціонують в даному регіоні. Попит на транспортні послуги можна представити як обсяги транспортної роботи. Формулу зростання попиту на транспортні перевезення даного виду вантажу $W_i$ (прогнозованого попиту) можна представити в такому вигляді:

$$W_i = (V_i + \Delta V_i) \cdot l_{сер\,i}\text{, т. км} \quad (1)$$

де $V_i$ – обсяги перевезень вантажів даного виду, які здійснюються підприємством в період, що розглядається т.;

$\Delta V_i$ – рівень збільшення обсягів перевезень $i$-го виду, що прогнозується в майбутньому (в наступному кварталі, місяці), т.;

$l_{сер\,i}$ – середня відстань перевезень вантажів даного $i$-го виду, км.

Доходи підприємства автотранспорту від перевезень вантажів даного виду $D_i$ при збільшенні їх обсягів можна визначити за формулою:

$$D_i = W_i * C_i + C_e, \quad (2)$$

де $C_i$ – ціна одиниці транспортної послуги: перевезення 1 т. вантажу $i$-го виду на відстань 1 км (ціна одного т. км), грн / т. км.

$C_e$ – ціна одиниці послуги з транспортного експедирування.

Підприємство автотранспорту може ефективно функціонувати за умови отримання ним постійно стабільного доходу $D_{CT\,i}$ від перевезення вантажів.

При збільшенні обсягів перевезень збільшуються в першу чергу змінні витрати на транспортні перевезення (витрати палива, заробітна плата, витрати на підтримку працездатності автомобілів та інші). Постійні витрати підприємства практично не змінюються.

При визначенні та плануванні цін на послуги з транспортних перевезень, стабільно отримуваний дохід повинен перекривати збільшення перемінних витрат, пов'язаних зі зростанням обсягів перевезень. Отже стабільний дохід підприємства автотранспорту від перевезень $i$-го виду вантажів $D_{CT\,i}$ можна представити такою формулою:

$$D_{CT\,i} = D_{0\,i} + b_i * \Delta V_i, \quad (3)$$

де $D_{0\,i}$ – дохід підприємства від транспортних послуг $i$-го виду в попередньому періоді при існуючому ціноутворенні (до збільшення попиту), грн.;

$b_i$ – змінні фінансові витрати на один т. км виконаної роботи з транспортних перевезень $i$-го виду вантажів, грн./т. км;

$\Delta V_i$ – рівень збільшення обсягів транспортних послуг $i$-го виду при збільшенні попиту, що відбувається на ринку послуг або прогнозується.

Ціну, яка буде прийнятною для автотранспортного підприємства з точки зору забезпечення ефективності його функціонування та конкурентоспроможності, дотримання основних техніко-економічних показників роботи на належному рівні, можна визначити за формулою:

$$C_i = D_{CT\,i} / W_i. \quad (4)$$

Зростання пропозиції транспортних послуг підприємством залежить від структури, рівня та стану транспортних засобів, виробничої бази обслуговування та ремонту автомобілів на підприємстві, можливостей розвитку всієї виробничої структури (наявність фінансів, інвестицій тощо). Підприємству важливо вивчити та проаналізувати ринок послуг для встановлення сегменту ринку, який може обслуговувати підприємство, врахувати рівень та динаміку розвитку існуючих підприємств – конкурентів, можливу появу нових підприємств в даному регіоні.

Збільшену, прогнозовану, бажану пропозицію послуг даного підприємства $W_{i\,n}$ можна представити формулою:

$$W_{i\,n} = W_{i\,\text{тб}} + \Delta W_{i\,\text{тб}} - W_{i\,\text{кон}}\text{, т. км} \quad (5)$$

де $W_{i\,\text{тб}}$ – початкова пропозиція виробництва транспортних послуг даного підприємства до збільшення виробничої бази, т. км;

$\Delta W_{i\,\text{тб}}$ – рівень збільшення пропозиції транспортних послуг підприємством після збільшення автомобільного парку, розширення виробничої бази, т. км;

$W_{i\,\text{кон}}$ – можливий рівень зменшення пропозиції виробництва транспортних послуг за рахунок появи та розвитку підприємств - конкурентів в регіоні, т. км.

В періоді, на який ведеться планування, доходи підприємства будуть формуватись за рахунок використання раніше існуючої і нової потужності. Причому підприємству необхідно буде конкурувати з іншими підприємствами, що з'являються і розвиваються в даному регіоні.

Реальний дохід $D_i$ в такому випадку можна визначити за формулою:

$$D_i = (W_{i\,\text{тб}} + \Delta W_{i\,\text{тб}}) \cdot C_i - W_{i\,\text{кон}} \cdot C_i\,. \quad (6)$$

Ціна на транспортні перевезення $i$-го виду вантажів $C_i$, яка з економічної точки зору буде прийнятною для підприємства, складе:

$$C_i = \frac{D_i}{W_{i\,\text{тб}} + \Delta W_{i\,\text{тб}} - W_{i\,\text{кон}}}\text{, грн / т. км} \quad (7)$$

При цьому важливо, щоб дохід $D_i$ був стабільним або наближеним до нього. Математична модель показує порядок взаємодії автотранспортного підприємства зі споживачами на ринку транспортних послуг.

**Список використаних джерел**

1. Дмитриченко М. Ф., Яцківський Л. Ю., Ширяєва С. А., Докунікін В. З. Основи теорії транспортних процесів і систем. Навчальний посібник для ВНЗ. – К.: Видавничий дім "Слово", 2009. – 336 с.

2. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення. Навчальний посібник. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. – 408 с.

3. Нагорний Є.В., Ломотько Д.В., Шраменко Н.Ю. та ін. Транспортно-експедиторська діяльність: підручник. - Харків: ХНАДУ, 2012.

4. Порядок організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом. Затверджено Наказом Міністерства інфраструктури України 15.07.2013, № 480

***Мастепан Микола Антонович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспортного Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, e-mail: mastepanma@gmail.com).

***Виноградов Микола Семенович*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспортного Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, e-mail: m.s.vynohradov@donnaba.edu.ua).

***Макарова Тамара Володимирівна*** — кандидат екон. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3222, e-mail: tomamakarova@ukr.net).

***Нежувака Лілія Володимирівна*** — здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами) спеціалізації транспортні технології на автомобільному транспорті кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, ауд. 3222).

***Mastepan Mykola*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska St., 15, e-mail: mastepanma@gmail.com).

***Vynogradov Mykola*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska St., 15, e-mail: m.s.vynohradov@donnaba.edu.ua).

***Makarova Tamara*** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic Street, room 3222, e-mail: tomamakarova@ukr.net).

***Nezhuvaka Liliya*** – applicant for the second (master's) level of higher education in the specialty 275 - Transport Technologies (by type) of the specialization Transport Technologies in Road Transport of the Department of Automobiles and Transport Management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, 7 Polytechnic Street, room 3222).

УДК 656.13

**Мачульський М.А.**

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИТРАТИ ПАЛИВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ N3 ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ CRM-ПЛАТФОРМИ

*Анотація. У тезах проаналізовано підходи до підвищення паливної ефективності вантажних автомобілів категорії N3. Досліджено обмеження традиційних систем FMS та обґрунтовано доцільність переходу до інтегрованих CRM-платформ. Запропоновано інтегральний показник ефективності експлуатації та обґрунтовано використання машинного навчання для виявлення прихованих аномалій і переходу до предиктивного технічного обслуговування автопарку.*

***Ключові слова:*** *вантажні автомобілі категорії N3, паливна ефективність, CRM-платформа, предиктивне технічне обслуговування, машинне навчання, інтегральний показник.*

*Abstract. The abstracts analyze approaches to improve the fuel efficiency of N3 trucks. The limitations of traditional FMS are investigated, and the transition to CRM platforms is justified. An integral indicator of operational efficiency and the use of machine learning for anomaly detection and predictive maintenance are proposed.*

***Key words:*** *N3 category trucks, fuel efficiency, CRM platform, predictive maintenance, machine learning, integral efficiency indicator.*

Підвищення паливної ефективності важких вантажних автомобілів категорії N3 залишається одним із ключових завдань транспортної логістики, оскільки саме ця категорія формує значну частку витрат і викидів у секторі перевезень. За даними European Environment Agency, на важкі транспортні засоби припадає суттєва частка $CO_2$ -викидів у дорожньому транспорті ЄС [1].

У сучасних умовах потенціал удосконалення двигунів внутрішнього згоряння поступово вичерпується через фізичні та термодинамічні обмеження. У зв'язку з цим основні можливості підвищення ефективності зміщуються у сферу цифрових рішень – аналізу даних (Big Data), інтеграції телематики та використання інтелектуальних систем управління автопарком (ITS) [2].

Існуючі системи управління автопарком (FMS), які пропонуються виробниками транспортних засобів, зазвичай функціонують як замкнуті рішення, орієнтовані на обробку телематичних даних. Водночас такі системи обмежено взаємодіють із бізнес-процесами підприємства, що знижує їхню аналітичну цінність. Без інтеграції з економічними показниками (доходи, витрати, завантаження) навіть точні телематичні дані не дають повного уявлення про ефективність експлуатації транспортного засобу [3].

У дослідженні запропоновано підхід, що передбачає використання CRM-платформи як центрального елемента інтеграції даних автопарку. Така система об'єднує інформацію з телематичних джерел (CAN-шина, GPS), логістичних систем та фінансових показників, формуючи єдине інформаційне середовище для аналізу. Переваги такого підходу наведено у таблиці 1.

Завдяки цьому формується єдине інформаційне середовище, в якому дані про витрату палива аналізуються не ізольовано, а в контексті фактичного навантаження, маршруту, поведінки водія та економічної ефективності рейсу.

Для оцінювання ефективності експлуатації запропоновано інтегральний показник($Eeff$ ), який враховує фактичну витрату палива, нормативні значення з урахуванням умов руху, коефіцієнт завантаження транспортного засобу та індивідуальні особливості стилю водіння. Використання такого показника дозволяє виявляти відхилення у роботі транспортного засобу навіть за відсутності явних змін умов експлуатації та розраховується за формулою:

$$Eeff = \frac{Qfact - Qnorm}{L*Kstyle} \quad (1)$$

де $Qfact$ – фактична витрата палива (дані з CAN-шини);
$Qnorm$ – нормативна витрата, що динамічно перераховується з урахуванням профілю маршруту та погодних умов;
$L$ – коефіцієнт завантаження автомобіля;
$Kstyle$ – багатофакторний коефіцієнт стилю водіння, що враховує агресивні маневри та час роботи на холостому ходу.

Таблиця 1 – Порівняння функціональних можливостей систем управління автопарком

| **Показник** | **Традиційні GPS/FMS системи** | **Інтегрована платформа (CRM Salesforce)** |
|---|---|---|
| Джерело даних | Тільки телематика (GPS, CAN) | Телематика + Бізнес-дані (замовлення, договори, фінанси) |
| Аналіз водія | Базовий (швидкість, різке гальмування) | Комплексний профіль (рейтинг, історія, персональне навчання) |
| Технічне обслуговування | Реактивне / за регламентом (пробіг) | Предиктивне (Predictive Maintenance на основі навантажень) |
| Аналітика | Статичні звіти (працюють із минулим) | Динамічні Dashboards з AI-прогнозуванням (проактивність) |
| Масштабованість | Обмежена екосистемою виробника ТЗ | Висока (API-інтеграція будь-яких пристроїв) |

Практичне застосування показника дозволяє виявляти відхилення від нормальної роботи транспортного засобу. Зокрема, різке зростання значення показника за стабільних умов експлуатації може свідчити про приховані технічні несправності або неефективну поведінку водія.

Для наочної демонстрації роботи математичної моделі на рисунку 1 наведено симуляцію динаміки показника $Eeff$ для окремого транспортного засобу протягом 10 умовних рейсів.

Як видно з графіка, у рейсах №1-№7 показник $Eeff$ коливається в межах нормативних відхилень (на рівні 0.01-0.05), що свідчить про ефективне використання ресурсів. Проте, починаючи з рейсу №8, спостерігається різке нелінійне зростання показника (значення 0.3, 0.5 та 0.8 відповідно), незважаючи на стабільний коефіцієнт завантаження ($L$).

Цей патерн є класичним маркером прихованої експлуатаційної аномалії. Для автоматизованого виявлення подібних відхилень у масштабах усього автопарку використовується інтелектуальний модуль машинного навчання (наприклад, Salesforce Einstein AI), який агрегує дані та автоматично генерує проактивний сигнал для інженерно-технічної служби ще до моменту критичного прояву несправності на маршруті.

Запропонований підхід дозволяє перейти від ізольованого аналізу телематичних даних до комплексного оцінювання ефективності автопарку. Інтеграція CRM-платформи з даними

про експлуатацію та економіку перевезень забезпечує більш точне розуміння причин перевитрати палива.

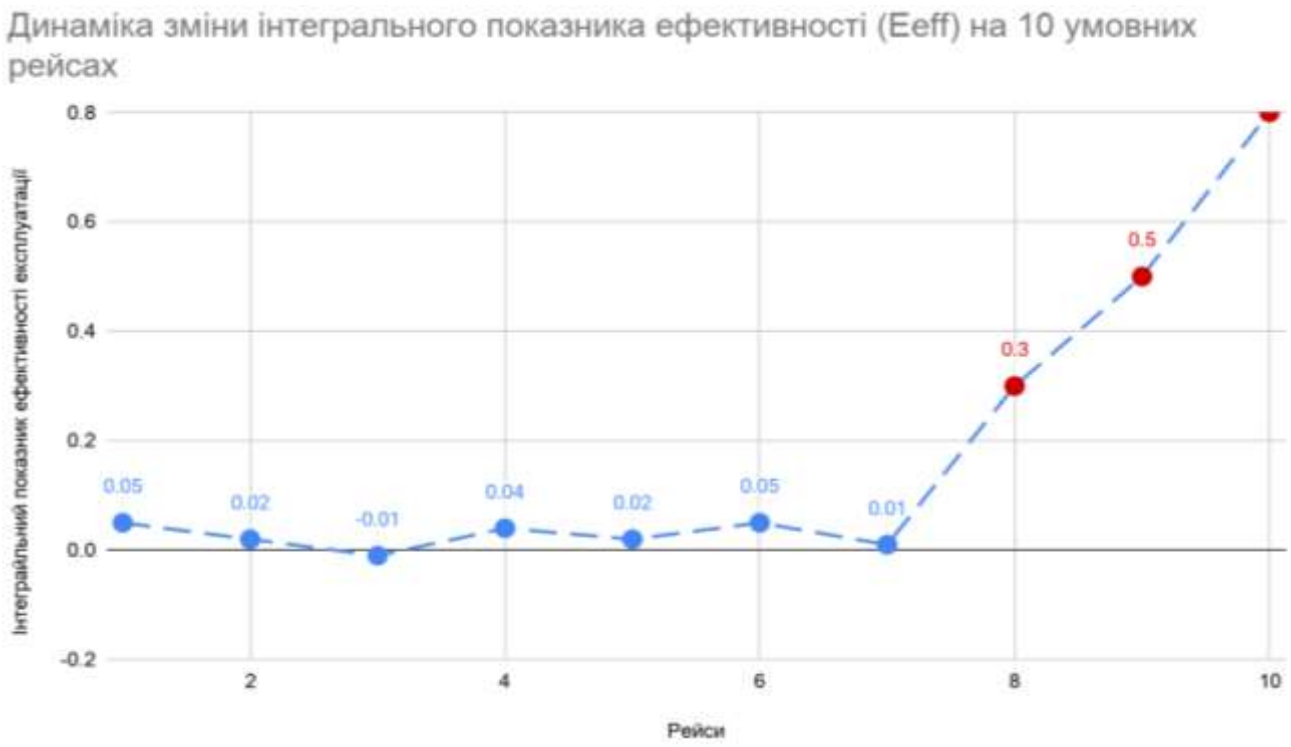



Рисунок 1 – Динаміка зміни інтегрального показника ефективності ($Eeff$ ) та виявлення експлуатаційної аномалії

Використання інтегрального показника у поєднанні з алгоритмами машинного навчання дає змогу оперативно виявляти відхилення та приймати обґрунтовані управлінські рішення. Це створює передумови для зниження витрат, підвищення ефективності використання транспортних засобів і переходу до предиктивного технічного обслуговування.

**Список використаних джерел**

1. Monitoring CO2 emissions from new heavy-duty vehicles in Europe / European Environment Agency. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2023.
2. Bock S. Real-time Smart Fleet Management using Cloud Computing and IoT. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*. 2021. Vol. 28, No. 2. P. 145-162.
3. Porter M. E., Heppelmann J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*. 2014. Vol. 92, No. 11. P. 64-88.
4. Воркут А. І. Проектування транспортних процесів. Київ : Транспорт, 2002. 432 с.

***Мачульський Михайло Андрійович*** – аспірант кафедри автомобілів та транспортних технологій Луцького національного технічного університету (43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, e-mail: mykhailo.machulskyi@gmail.com).

***Machulskyi Mykhailo*** – postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk National Technical University (43018, Lutsk, Lvivska Street, 75, e-mail: mykhailo.machulskyi@gmail.com).

УДК 330.111.4

**Микольченко В.С.**

# УПРАВЛІННЯ ФОРМУВАННЯМ ПОТЕНЦІАЛУ РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

*В статті розглянуто характеристики потенціалу автотранспортного підприємства. Досліджено етапи формування потенціалу розвитку підприємства. Проаналізована структуризація потенціалу розвитку підприємства. Наведена технологія процесу формування системи потенціалу розвитку. Визначена сутність управління формуванням потенціалу розвитку підприємства.*

***Ключові слова:*** *управління формування потенціалу розвитку, підприємство, потенціал, формування, розвиток.*

*The article considers the characteristics of the potential of a motor transport enterprise. The stages of the formation of the enterprise's development potential are investigated. The structuring of the enterprise's development potential is analyzed. The technology of the process of forming the development potential system is presented. The essence of the management of the formation of the enterprise's development potential is determined.*

***Keywords:*** *management of the formation of development potential, enterprise, potential, formation, development.*

В сучасних умовах господарювання потенціал організації аналізується як джерело розвитку в адаптаційних умовах до конкурентного ринку і модернізації вітчизняної економіки. Впровадження масштабних, ефективних інвестиційних проектів та інноваційні процеси дозволяють покращити потенціал підприємства.

Автори теоретико-методологічних напрямів, такі як Бачевський Б.Є., Заблодська І.В., Решетняк, Федонін О.С., Рєпіна І.М., Олексюк О.І., Гавва В., Божко Е.А., Сущенко Р.В., Карпенко Н.П., Гузенко Т.С в своїх працях щодо управління формуванням потенціалу розвитку підприємства підходять як до складно компонентної економічної парадигми.

Формування цілей є визначення сутності управління формування потенціалу розвитку автотранспортного підприємства.

Основи управління формуванням потенціалу розвитку автотранспортного підприємства слід розглядати з визначення поняття «потенціал». Теорія потенціалу дозволяє узагальнити економічні категорії, теоретико-методичні дослідження формування і розвитку потенціалу підприємства, інструменти для його оцінювання [1].

Аналізуючи визначення «потенціал підприємства» від різних вчених, можна зазначити, що це складна і динамічна система, яка має свої закономірності розвитку.

Формування потенціалу розвитку автотранспортного підприємства являється перетворювальним процесом, який нарощує вже існуючий потенціал так, за допомогою окремих елементів, щоб була змога забезпечити їх максимальне використання як цілісну складову в нестабільному зовнішньому середовищі.

На етапі визначення цілей та завдань потрібно чітко поставити мету для досягнення позитивного результату від реалізації певних дій в майбутньому.

На другому етапі перед визначенням стану потенціалу організації необхідно взяти до уваги наявні його зусилля та ресурси. Вони потрібні для того, щоб в подальшому їх можна було використати. При цьому, наявні ресурси зумовлюють пасивну і активну частини потенціалу, а резервну частину характеризують приховані ресурси. Таким чином, на поточний момент часу активна частина потенціалу використовується підприємством (діюча частина сукупного потенціалу), а пасивна може використовуватись в подальшому як джерело підвищення сукупного потенціалу [2]

Третій етап характеризується оцінюванням стану потенціалу розвитку організації.

На четвертому етапі проводить формулювання можливих варіантів за результатами пошуку прихованих зусиль та ресурсів.

На п'ятому етапі проводиться вибір альтернативних способів бажаного стану потенціалу розвитку для досягнення певної цілі.

Шостий етап передбачає розробку вибраних варіантів проектного стану потенціалу розвитку автотранспортного підприємства.

Сьомий етап обумовлений реалізацією вибраних варіантів для досягнення бажаного результату щодо формування потенціалу розвитку автотранспортного підприємства.

Структура потенціалу розвитку автотранспортного підприємства є способом організації структурних елементів потенціалу, що в свою чергу розкривають розвиток, його будову, формування, та склад. В науково-дослідницькій літературі розрізняють суб'єктивні та об'єктивні складники потенціалу розвитку підприємства:

- об'єктивні – передбачають матеріальну форму потенціалу;
- суб'єктивні передбачають соціальну форму потенціалу і формулюють соціальний момент здорового використання предметних елементів [3].

Потенціал розвитку автотранспортного підприємства можна охарактеризувати як комплекс можливостей і ресурсів, які взаємопов'язані між собою. Використовуються раціонально з ціллю забезпечення управління розвитком підприємства, створення конкурентних переваг та задоволення потреб потенційних споживачів.

Факторами, що впливають на структуру потенціалу розвитку автотранспортного підприємства належать:

- технології виробництватва;
- цінова політика;
- характеристика продукції;
- рівень рентабельності;
- інвестиційна активність;
- накопичення та капіталізація активів;
- фіскальні активності;
- інституційне регулювання;
- оподаткування;
- просторові параметри;
- інвестиційні привабливість [3].

Якщо розглядати фактор розвитку організації з використанням сучасних технологій виробництва, то варто зауважити, що обрання інструментів допомагає визначити, яке обладнання, спеціалісти і ресурси потрібні для реалізації.

Оскільки потенціал розвитку автотранспортного підприємства є системою, то його пізнання найкраще здійснюється за допомогою структурного аналізу, що є основним чинником функціональності та властивостей системи. Структура, завдяки елементам, являється способом досягнення цілі автотранспортного підприємства, що в свою чергу впливає на його ефективність. Також, вона дозволяє визначити потребу в вдосконаленні системи управління формування потенціалу.

Управління формуванням потенціалу розвитку автотранспортного підприємства дає можливість врахувати сильні та слабкі сторони компанії, її загрози і можливості, а також зробити оцінку всіх складників системи управління підприємством та зробити їх розрахунок [4]

Управління формування потенціалу розвитку автотранспортного підприємством являється важливим аспектом для досягнення ефективної діяльності компанії. В не стабільних ринкових умовах управління потенціалом розвитку автотранспортного підприємства тісно взаємозв'язані із інноваційним потенціалом, оскільки він є гарантом розвитку. Тому доцільним вважати, що організації потрібно весь час знаходити нові стимулюючі важелі для досягнення особистих цілей за рахунок розвитку свого товару на ринку.

**Список використаних джерел**

1. Сабадирьова А.Л., Бабй О.М., Куклінова Т.В., Салавеліс Д.Є. Потенціал і розвиток підприємства: навч. посіб. Одеса: ОНЕУ, 2016. 343 с.

2. Пипенко І.С. Процес формування потенціалу розвитку підприємства. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/protses-formuvannya-potentsialu-rozvitku-pidpriemstva/viewer (дата звернення 31.03.2023).

3. Вовк О.М., Дудік А.О. Управління потенціалом розвитку підприємства: стратегічний підхід. URL: http://prostir.pdaba.dp.ua/index.php/journal/article/view/707/687 (дата звернення 31.03.2023).

4. Педченко Н.С. Потенціал розвитку при стратегічному управлінні підприємством: монографія. Полтава: ПУЕТ, 2021. 368 с.

***Микольченко Віра Сергіївна*** **–** к.ф.н., методист навчально-методичного відділу Криворізького національного університету, e-mail: mikolvera04@gmail.com

***Mykolchenko Vira Serhiivna*** – Candidate of Philological Sciences, methodologist of the educational and methodological department of Kryvyi Rih National University, e-mail: mikolvera04@gmail.com

УДК 711.556:656.13

**Митко М.В.**

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФАКТИЧНОГО ТА ПРОЄКТНОГО СТАНУ ПАРКУВАЛЬНОГО ПРОСТОРУ НА ПРИКЛАДІ ПАРКОВКИ МІКРОРАЙОНУ «ВИШЕНЬКА» МІСТА ВІННИЦЯ

*У роботі проведено порівняльний аналіз фактичного та проєктного стану паркувального простору в умовах сформованої житлової забудови. На основі математичного моделювання запропоновано методику реорганізації майданчиків із застосуванням розрахункового коефіцієнта місткості ($K_{eff}$). Такий підхід дозволяє оптимізувати використання території без зміни її зовнішніх меж шляхом впорядкування геометрії проїздів та ліквідації нефункціональних зон.*

*На прикладі парковки у мікрорайоні «Вишенька» м. Вінниця продемонстровано, що впровадження універсальної моделі забезпечує зростання кількості машиномісць зі 115 до 140 одиниць. Це дозволяє підвищити показник планувальної ефективності на 18% та доводить доцільність реконструкції існуючих об'єктів для розвантаження прибудинкових територій.*

***Ключові слова:*** *кількість машиномісць, коефіцієнт місткості, оптимізація, паркувальний простір, порівняльний аналіз, універсальна модель.*

*The paper presents a comparative analysis of the actual and design state of parking spaces in the conditions of existing residential development. Based on mathematical modeling, a methodology for reorganizing parking spaces using the estimated capacity factor ($K_{eff}$) is proposed. This approach allows optimizing the use of the territory without changing its external boundaries by streamlining the geometry of driveways and eliminating non-functional areas.*

*Using the example of parking in the "Vyshenka" neighborhood of Vinnytsia, it is demonstrated that the implementation of a universal model ensures an increase in the number of parking spaces from 115 to 140 units. This allows increasing the planning efficiency index by 18% and proves the feasibility of reconstructing existing facilities to relieve adjacent areas.*

***Key words:*** *number of parking spaces, capacity factor, optimization, parking space, comparative analysis, universal model.*

Метою дослідження є порівняльна оцінка ефективності організації паркувального простору в умовах обмеженої території житлової забудови. Основна увага приділяється переходу від хаотичного заповнення ділянки до системного планування на основі розрахункового коефіцієнта місткості [1, 6].

Методика дослідження базується на застосуванні універсальної моделі оптимізації, яка враховує геометричні параметри ділянки, радіуси повороту транспортних засобів (ТЗ) та необхідні технологічні розриви. Ключовим інструментом порівняння є коефіцієнт $K_{eff}$, що визначає щільність розміщення машиномісць на одиницю площі. Розрахунки проводились для паркувального майданчика у мікрорайоні «Вишенька», де бралися до уваги такі категорії місць:

- стандартні паркомісця для легкових автомобілів (5,5 × 2,5 м);
- спеціалізовані зони для великогабаритних ТЗ (мікроавтобусів) (10,0 × 2,5 м);
- технологічні зони маневрування (з урахуванням 10% допуску).

Одним із визначальних чинників є доцільність реорганізації простору, яка зумовлена перевантаженням дворів та потребою в автоматизації [2, 5]. Використання математичних моделей дозволяє візуалізувати переваги системного підходу до планування [3, 4].

Для ілюстрації результатів дослідження проведено порівняльний аналіз:

• На рис. 1 наведено схему фактичного стану паркувального майданчика (старе планування). Видно, що через відсутність чіткої розмітки та нераціональне використання зон поблизу ангара, значна частина території залишається «мертвою», що обмежує місткість до 115 ТЗ.

• На рис. 2 представлено запропоноване проєктне рішення (нова модель). Впровадження регулярної сітки та оптимізація проїздів дозволили збільшити кількість машиномісць до 140 одиниць, підвищивши ефективність використання площі на 18%.

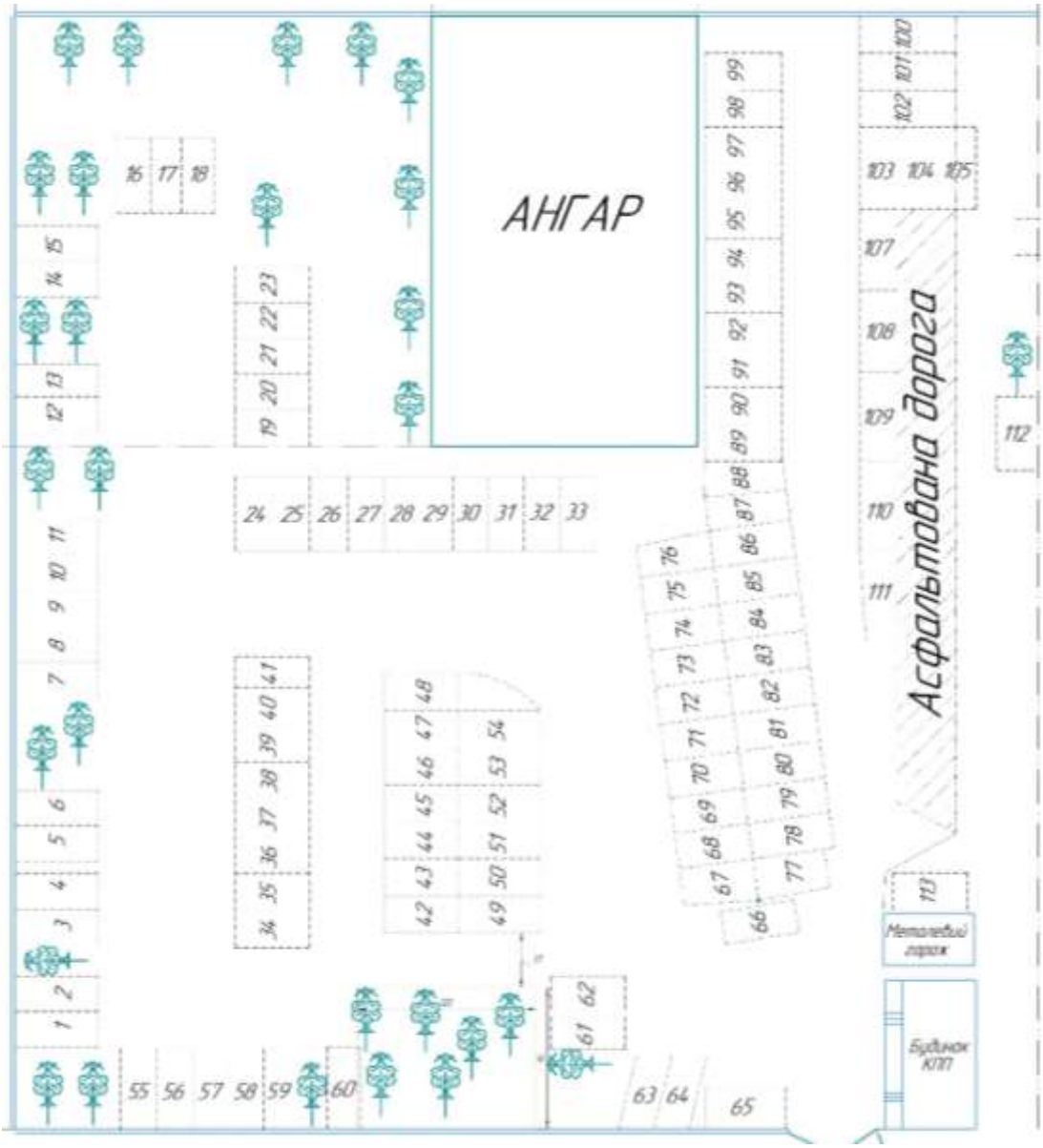



Рисунок 1 – Схема фактичного стану паркувального майданчика (старе планування)

На основі проведеного порівняльного аналізу фактичного планування (рис. 1) та проєктного рішення (рис. 2), можна зробити висновок про високу ефективність застосування розрахункового коефіцієнта місткості.

Запропонована методика передбачає оптимізацію паркувального простору з урахуванням:

- загальної геометричної конфігурації ділянки;
- диференціації машиномісць за габаритами ТЗ (легкові автомобілі та мікроавтобуси);
- мінімізації площі внутрішніх проїздів без втрати маневреності;
- технологічного допуску на похибку встановлення автомобілів.

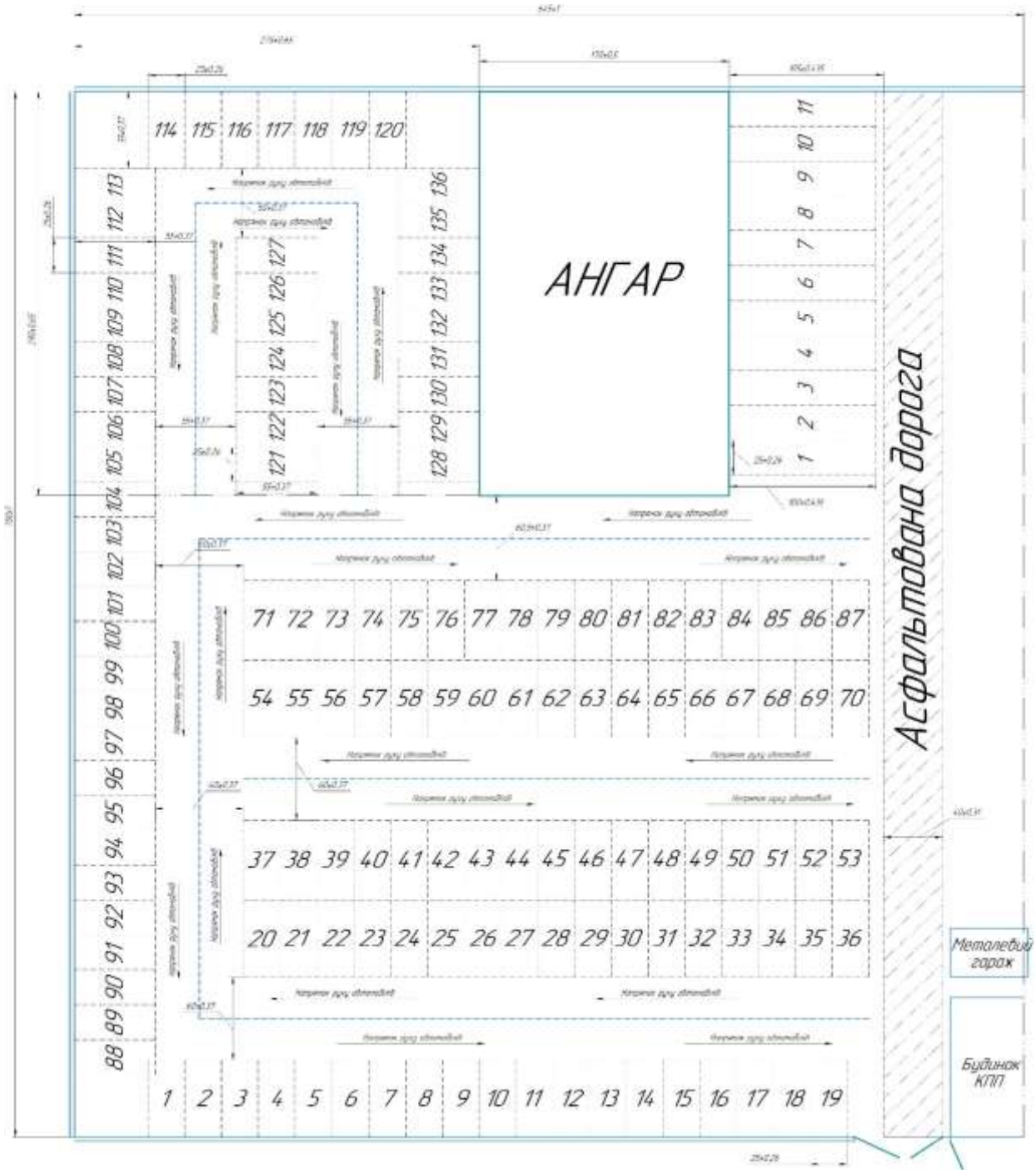



Рисунок 2 – Схема запропонованого проєктного рішення (нова модель)

Ефективність використання території паркувального майданчика оцінюється за формулою:

$$K_{eff} = \frac{N_{new} \cdot P_{util}}{S_{total}}, \quad (1)$$

де $N_{new}$ – кількість запроєктованих машиномісць (од.); $P_{util}$ – корисна площа, що припадає на одне машиномісце з урахуванням під'їзних шляхів (м$^2$); $S_{total}$ – загальна площа досліджуваної ділянки (м$^2$).

Застосування даної моделі дозволило трансформувати хаотичну структуру парковки у впорядковану систему. Зокрема, на рисунку 2 продемонстровано ліквідацію «мертвих зон» поблизу ангара та впровадження рядного паркування під кутом 90°, що забезпечило збільшення місткості зі 115 до 140 одиниць. Розрахунковий показник $K_{eff}$ при цьому зріс на 18%,

що підтверджує доцільність реорганізації існуючих майданчиків у житловій забудові без залучення додаткових міських територій.

Основні результати порівняльного аналізу фактичних та проєктних техніко-експлуатаційних показників майданчика зведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика фактичного та проєктного стану паркувального майданчика

| Показник | Фактичний стан (рис. 1) | Проєктне рішення (рис. 2) | Результат (ефект) |
|---|---|---|---|
| Загальна кількість машино-місць, од. | 115 | 140 | +25 (21,7%) |
| Кількість місць для мікроавтобусів, од. | 0 | 11 | Впорядкування габаритних ТЗ |
| Структура розмітки | Хаотична | Регулярна сітка (90°) | Оптимізація площі |
| Розрахунковий коефіцієнт ($K_{eff}$) | 0,60 | 0,78 | Зростання на 18-20% |

Впровадження розробленої моделі дозволяє збільшити місткість досліджуваної ділянки до 130 – 140 одиниць. Порівняльний аналіз фактичного та проєктного станів (рис. 1, 2) підтверджує доцільність реорганізації паркувального простору мікрорайону «Вишенька» міста Вінниця. Раціональне використання площі забезпечує впорядковане зберігання як легкових автомобілів, так і мікроавтобусів без розширення меж майданчика.

**Список використаних джерел**

1. Бондар А. В., Максименко М. А., Дремлюга С.О. Дослідження стану паркувального простору міста Вінниці // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2022. – №2. – С. 130 – 139.

2. Лисенко Олена. Під час війни кількість транспортних засобів в Україні зросла на третину і досягла 13 млн. [Електронний ресурс] // Мінфін. – Режим доступу: https://minfin.com.ua/ua/2024/03/20/123560792/. – Дата звернення: 28.03.2026.

3. Mytko, M., Burlaka, S., Antonuk, O., Bondar, A., & Datsiuk, D. (2026). Development of universal model for optimizing parking spaces in complex geometric configurations. *Technology Audit and Production Reserves*, *1*(1(87), 38 – 43. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2026.353063.

4. Митко, М., Бурлака, С., & Ярощук, Р. (2026). Оптимізація використання міських територій для паркування шляхом моделювання методів збільшення кількості паркомісць з урахуванням багаторівневх систем і мінімізації капітальних витрат. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, *363*(2), 135-143. https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-363-17.

5. І. А. Поліщук, «Особливості впровадження систем автоматизованого паркування у великих містах», НаукПраці ВНТУ, вип. 2, Лип 2024.

6. Савін Ю. Х. Методичні основи визначення потужності підприємств з паркування транспортних засобів / Ю. Х. Савін, В. Р. Середа // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. - 2014. - No 1. -С. 114 – 116. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2014_1_22.

***Митко Микола Васильович*** **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету

***Mytko Mykola*** **–** candidate of technical sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University

УДК 656.1:658.7(477.44)

**Москалюк М.Л., Кашканов А.А.**

# СТРУКТУРНО-СИСТЕМНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ВІННИЧЧИНИ ТА ЛОГІСТИЧНОЇ ЕКОСИСТЕМИ РИНКУ ЗАПЧАСТИН

*Здійснено комплексний аналіз спеціалізованого рухомого складу Вінницької області та логістичної інфраструктури ринку запчастин. Визначено вікову й брендову структуру парку, його вплив на сервісну інфраструктуру, а також мережеву організацію ринку запчастин. На прикладі компанії «Strans» показано ефективність моделі швидкої доставки та створення сервісної екосистеми. Зроблено висновок про необхідність диференційованого підходу до розвитку регіональної логістики.*

***Ключові слова:*** *автомобільний транспорт, спеціалізований рухомий склад, логістична інфраструктура, ринок запчастин, сервісна система, Вінницька область.*

*The paper presents a comprehensive analysis of the specialized vehicle fleet in Vinnytsia region and the logistics infrastructure of the spare parts market. The study outlines the age and brand structure of the fleet, its impact on service infrastructure, and the network organization of the spare parts market. Using the case of "Strans," the efficiency of rapid delivery and the creation of a service ecosystem is demonstrated. The conclusion emphasizes the need for a differentiated approach to regional logistics development.*

***Key words:*** *road transport, specialized vehicle fleet, logistics infrastructure, spare parts market, service system, Vinnytsia region.*

Функціонування транспортно-логістичної системи регіону визначається двома взаємопов'язаними чинниками [1]: структурою спеціалізованого рухомого складу (СРС) та рівнем розвитку інфраструктури ринку запасних частин. Вінницька область, завдяки своєму географічному положенню, виконує роль транзитного хабу, що забезпечує потреби не лише місцевих підприємств, а й суміжних регіонів.

Згідно з даними Головного сервісного центру МВС України та показників Головного управління статистики у Вінницькій області, загальний парк вантажних автомобілів становить 45-50 тис. одиниць, з яких 12-15 тис. – СРС та тягачі. Найбільша концентрація техніки (табл. 1) спостерігається у м. Вінниці та Вінницькому районі (понад 60%), що зумовлено наявністю комунальних підприємств, будівельних компаній та торговельних мереж. Гайсинський і Тульчинський райони вирізняються агропромисловою специфікою (цукрові заводи, молочні холдинги), а Могилів-Подільський — значною кількістю тягачів через прикордонну інфраструктуру.

Вікова структура СРС (рис.1):

– до 5 років: 7-10% (нова техніка агрохолдингів, потребує авторизованого сервісу);

– 5-15 років: 35-40% (основний сегмент мультибрендових станцій технічного обслуговування (СТО));

– понад 15 років: понад 50% (застарілі моделі, ремонт на власних базах).

Європейські виробники формують 75-80% нових реєстрацій. Лідери – Scania (18-22%), MAN (15-18%), DAF (12-15%), Volvo та Mercedes-Benz займають по 8-10%, Renault та Iveco – 5-7%. Азійський сегмент (JAC, Isuzu, Sinotruk, Howo) зростає до 12-15%, поступово витісняючи радянські марки (ЗИЛ, ГАЗ, МАЗ, КАМАЗ), що залишаються у «сірій зоні» сервісу. Висока концентрація сучасних європейських брендів стимулює розвиток авторизованих дилерських центрів, тоді як мультибрендові СТО потребують універсальних діагностичних систем. Комунальна техніка, через неможливість тривалого простою, вимагає сервісу на короткій відстані.

Таблиця 1 – Територіальний розподіл парку СРС Вінницької області

| Адміністративна одиниця | Кількість СРС, од. | Основна спеціалізація парку |
|---|---|---|
| 1. Місто Вінниця | 5 800 - 6 200 | Комунальна техніка, будівельна техніка, рефрижератори, дистрибуція, технічна допомога, автомобілі екстрених служб |
| 2. Вінницький район | 2 400 - 2 700 | Будівельна техніка, автомобільні поїзди, дистрибуція, паливні цистерни, контейнеровози |
| 3. Гайсинський район | 1 500 - 1 700 | Зерновози, самоскиди, автоцистерни-молоковози |
| 4. Жмеринський район | 1 100 - 1 300 | Зерновози, самоскиди,, паливозаправники |
| 5. Тульчинський район | 1 000 - 1 200 | Харчові цистерни (молоко), рефрижератори, самоскиди |
| 6. Могилів-Подільський | 900 - 1 100 | Автомобільні поїзди, самоскиди, |
| 7. Хмільницький район | 800 - 1 000 | Дорожня техніка, аграрні спецмашини |
| Усього по області | ~ 13 500 - 15 200 | |




Рисунок 1 – Структура парку СРС Вінниччини та її вплив на сервісну інфраструктуру

Регіональний попит:

– агропромисловість (55–60%): зерновози, молоковози, паливозаправники;
– комунальна та дорожня сфера (20–25%): сміттєвози, дорожні машини, автовишки;
– будівництво та лісозаготівля (15–20%): бетонозмішувачі, автокрани, лісовози.

Структура парку демонструє «технологічні ножиці»: поєднання сучасної європейської техніки, що потребує високотехнологічного сервісу, та значної частки застарілих машин із критичним зносом. Це створює надмірне навантаження на ремонтні зони та вимагає диференційованого підходу до сервісної інфраструктури регіону.

Ринок запчастин Вінниччини має виражену мережеву структуру (рис. 2): понад 120 точок продажу, з яких близько 80 розташовані у м. Вінниці. Найбільші осередки в районах – Гайсин і Жмеринка.




Рисунок 2 – Логістична екосистема ринку запчастин Вінниччини

Ключові мережеві гравці:

– Cargo Parts, має власну кур'єрську систему «день у день»;

– Strans, є лідером у запчастинах до причепів (SAF, BPW), має великий склад на виїзді з міста;

– Inter Cars Ukraine, є глобальним дистриб'ютором із онлайн-доступом до європейських складів.

В таблиці 2 наведені відомості про розподіл мережі логістики запасних частин у Вінницькій областіі

Таблиця 2 – Кількісний розподіл точок продажу запчастин

| Категорія постачальника | Кількість (м. Вінниця) | Кількість (райони області) | Особливість діяльності |
|---|---|---|---|
| 1. Мережеві маркети («Strans», «Cargo») | 6 | 4 | Прямі контракти з заводами, IT-дефтери (цифрові журнали) |
| 2. Спеціалізовані магазини («TIR») | 25 | 15 | Фокус на двигуни та ходову частину «європейців» |
| 3. Дрібні крамниці та ФОП | 40 | 20 | Робота «під замовлення», низька ціна |
| 4. Авторозборки (шроти) | 10 | 5 | Тільки вживані вузли (агрегати в зборі) |

Вінницька філія «Strans» стала прикладом трансформації локального магазину у високотехнологічний логістичний хаб. Використання багатоярусного зберігання (понад 50 тис. найменувань), власна кур'єрська мережа та спеціалізація на причіпній техніці забезпечують доставку за схемою «замовив вранці – отримав ввечері» [2]. Додатково створено екосистему: TIR-паркінг, душові, магазин супутніх товарів, що перетворює склад на соціальний хаб перевізників.

Комплексний аналіз показує, що ефективність транспортно-логістичної системи Вінниччини визначається поєднанням двох факторів:

1. Структури парку СРС, де сучасна європейська техніка співіснує із застарілими моделями, створюючи нерівномірне навантаження на сервісну інфраструктуру.

2. Логістики ринку запчастин, яка завдяки мережевим операторам забезпечує швидкість «останньої милі», але залишається залежною від імпорту та має ризики сезонних затримок.

Розвиток регіональної системи потребує диференційованого підходу: поєднання високотехнологічного сервісу для сучасних СРС та підтримки ремонтних баз для техніки з критичним зносом [3]. Це дозволить знизити простої транспорту на 30-40% і забезпечити стабільність логістичних процесів у ключових секторах економіки області [4].

**Список використаних джерел**

1. Кашканов А.А., Буряк В.В., Москалюк М.Л. (2023). Аспекти логістичного забезпечення виробничих процесів підприємств автомобільного транспорту України. *Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць*. Вінниця: ВНТУ. С. 154-156. https://atm.vntu.edu.ua/konf/Zbirnyk_STPR_AT_2023.pdf.

2. 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.

3. Москалюк М. Л., Кашканов А. А. Управління запасами запасних частин у логістиці автомобільних перевезень в умовах багатофакторної невизначеності. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2025, 2(25), С. 230-238. https://doi.org/10.36910/automash.v2i25.1931.

4. Буряк В., Кашканов А. Інтелектуальні системи моніторингу в логістиці зернових: вплив на експлуатаційні витрати автомобільного транспорту. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2025, 28, С. 6-13. https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.28.0.1.

***Москалюк Микола Леонідович*** – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, e-mail: moskalyuk255@gmail.com

***Кашканов Андрій Альбертович*** – д.т.н., професор, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Україна, 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

***Kashkanov Andrii*** – Doctor of Technical Science, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

УДК 656.1

**Мурований І.С.**

# СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙ У ТРАНСПОРТНУ ІНФРАСТРУКТУРУ

*У роботі здійснено аналіз сучасних підходів до оцінювання інвестицій у транспортну інфраструктуру та обґрунтовано доцільність їх розгляду в межах комплексної моделі, яка враховує економічні, соціальні та екологічні наслідки реалізації інфраструктурних проєктів. Такий підхід дає змогу більш повно оцінити їх вплив на розвиток територій, рівень добробуту населення та стабільність функціонування транспортної системи [1–5].*

***Ключові слова:*** *транспортна інфраструктура; оцінювання інвестицій; соціально-економічний підхід; економічні ефекти; екологічні ефекти; доступність; інклюзивність; сталий розвиток.*

*The paper analyzes current approaches to assessing investments in transport infrastructure and substantiates the feasibility of their evaluation within a comprehensive framework that integrates economic, social and environmental impacts. This approach enables a more complete assessment of their influence on territorial development, quality of life and the sustainability of transport systems [1–5].*

***Keywords:*** *transport infrastructure; investment assessment; socio-economic approach; economic effects; environmental effects; accessibility; inclusiveness; sustainability.*

Транспортна інфраструктура виконує базову функцію у формуванні економічного середовища, оскільки забезпечує безперервність транспортних зв'язків, підтримує мобільність населення та сприяє ефективному функціонуванню виробничих і сервісних систем. У сучасних умовах України її значення додатково зростає у зв'язку з потребами відновлення, технічного оновлення та підвищення стійкості інфраструктурних об'єктів. У стратегічних документах держави, зокрема в Національній транспортній стратегії до 2030 року, акцент зроблено на розвитку безпечної, інтегрованої, екологічно орієнтованої та доступної транспортної системи [1].

Разом із тим сучасні підходи до формування транспортної політики виходять за межі традиційної орієнтації на мінімізацію витрат і досягнення швидкої фінансової віддачі. На перший план поступово виходять критерії соціальної доступності, інклюзивності та формування безбар'єрного середовища. Це підтверджується положеннями Національної стратегії зі створення безбар'єрного простору, яка визначає забезпечення рівних можливостей як ключовий орієнтир державної політики [2].

Традиційні методи оцінювання інвестицій у транспортній сфері переважно базуються на аналізі витрат і вигід, показниках окупності, експлуатаційної ефективності та скорочення часу перевезень. Однак сучасна міжнародна практика демонструє зміну акцентів: від забезпечення мобільності до підвищення доступності транспортних послуг, зменшення соціальної нерівності, декарбонізації та формування безпечного середовища. У цьому контексті класичні фінансові моделі не відображають повною мірою реальні результати реалізації інфраструктурних проєктів [3].

Особливу увагу слід приділяти ширшим економічним ефектам інвестицій. Йдеться не лише про пряме зниження транспортних витрат або економію часу, а й про підвищення продуктивності, формування агломераційних переваг, розширення доступу до ринків праці, активізацію ділової діяльності та зростання інвестиційної привабливості територій. Таким чином, транспортні проєкти доцільно розглядати як складову частину комплексної економічної системи, а їх ефективність – як інтегральний результат багатофакторного впливу [3, 4].

Важливим компонентом оцінювання є екологічний аспект. За міжнародними оцінками, транспортний сектор залишається одним із ключових джерел викидів парникових газів. Зокрема, у країнах ЄС упродовж останніх десятиліть обсяги транспортних викидів зростали, тоді як у інших секторах спостерігалося їх скорочення. Значна частка цих викидів припадає на автомобільний транспорт. Це свідчить про необхідність врахування впливу інвестиційних рішень на рівень викидів, енергоефективність та якість довкілля [5].

З огляду на зазначене, соціально-економічний підхід до оцінювання інвестицій доцільно формувати як інтегровану систему, що поєднує економічні та екологічні ефекти. Економічна складова відображає вплив проєктів на розвиток господарської системи, тоді як екологічна — характеризує їх внесок у забезпечення довгострокової стійкості та зниження негативного впливу на навколишнє середовище (рис. 1).




Рисунок1 – Соціально-економічні ефекти інвестицій у транспортну інфраструктуру (сформовано на основі [1–5]).

Представлена схема демонструє, що результати реалізації транспортних проєктів доцільно оцінювати з урахуванням ширшого спектра наслідків, а не лише фінансових показників. Такий підхід дозволяє глибше оцінити стратегічне значення інфраструктури для розвитку територій, підвищення якості життя та забезпечення стійкого функціонування транспортної системи [3, 5].

З практичної точки зору це передбачає застосування розширеної системи критеріїв відбору інвестиційних проєктів. Поряд із фінансовою ефективністю необхідно враховувати їх вплив на доступність транспортних послуг, рівень безпеки, інклюзивність, екологічну стійкість та довгострокові економічні трансформації. Це дозволяє уникнути ситуацій, коли пріоритет отримують короткостроково дешевші, але стратегічно менш ефективні рішення [1–3].

Отже, оцінювання інвестицій у транспортну інфраструктуру доцільно здійснювати на основі комплексного соціально-економічного підходу. Для України це має особливе значення в умовах відновлення та модернізації транспортної системи, а також інтеграції до європейського транспортного простору. Використання інтегрованої моделі оцінювання сприяє підвищенню обґрунтованості управлінських рішень та орієнтації транспортної політики на довгостроковий суспільний ефект [1, 2, 5].

**Список використаних джерел**

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025–2027 роках : Постанова Кабінету Міністрів України від 27.12.2024 № 1550 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України

2. Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.04.2021 № 366-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України

3.International Transport Forum. *Broadening Transport Appraisal: Summary and Conclusions*. Paris : OECD Publishing, 2022

4. Venables A. J. *Incorporating Wider Economic Impacts within Cost-Benefit Appraisal*. Paris : OECD Publishing, 2016. P.30

5. World Bank. *Enhancing Transport Decarbonization in the European Union*. Washington, DC : World Bank, 2025

***Мурований Ігор Сергійович*** – канд. техн. наук, доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії Луцького національного технічного університету (43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, e-mail: igor_lntu@ukr.net).

***Igor MUROVANYI*** – PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University (43018, Lutsk, Lvivska St., 75, e-mail: igor_lntu@ukr.net).

УДК 62-58:004.9

**Назарова О.С., Міщенко Р.В.**

# МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ЯК ОСНОВА РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ МАЙБУТНЬОГО

*Анотація. Розглянуто актуальні тенденції розвитку автомобільного транспорту, пов'язані з переходом до електромобілів як складних мехатронних систем, що поєднують енергетичні, інформаційні та механічні підсистеми. Визначено перспективні напрями розвитку автомобільного транспорту на основі застосування технологій Sensor Fusion, штучного інтелекту, високовольтних енергетичних систем та інтегрованих електромеханічних приводів.*

***Ключові слова:*** *електромобіль, мехатроніка, електрична інженерія, транспорт.*

*Annotation. The current trends in the development of road transport, related to the transition to electric vehicles as complex mechatronic systems combining energy, information, and mechanical subsystems, are considered. Promising directions for the development of road transport, based on the application of Sensor Fusion technologies, artificial intelligence, high-voltage power systems, and integrated electromechanical drives, are identified.*

***Keywords:*** *electric vehicle, mechatronics, electrical engineering, transport.*

Сучасний етап розвитку автомобільного транспорту характеризується активним переходом до електрифікації та впровадження інтелектуальних мехатронних систем керування. Електромобіль сьогодні розглядається не лише як транспортний засіб, а як складна кіберфізична система, у якій відбувається інтеграція енергетичних, інформаційних та механічних підсистем в єдину керовану архітектуру. Такий підхід забезпечує підвищення енергоефективності, безпеки та функціональних можливостей сучасних транспортних засобів.

Центральним елементом електромобіля є тяговий акумулятор, робота якого контролюється системою керування батареєю (BMS). Вона здійснює моніторинг стану комірок, балансування напруги, контроль температури та забезпечує безпечну експлуатацію накопичувача енергії. Силова електроніка, зокрема інвертор і DC/DC-перетворювач, забезпечує перетворення енергії постійного струму в змінний для живлення електродвигуна та формує низьковольтну бортову мережу. Така архітектура дозволяє реалізувати плавне керування швидкістю та моментом електродвигуна без застосування складних механічних трансмісій [1].

Важливою особливістю електромобіля є інтеграція інформаційного, енергетичного та механічного доменів у єдину систему керування. Інформаційний домен формують датчики та електронні блоки керування, які здійснюють збір і обробку даних. Енергетичний домен включає батарею та силову електроніку, що забезпечують подачу необхідної потужності. Механічний домен представлений електродвигуном, редуктором і колесами. Обмін даними між підсистемами здійснюється через цифрові шини, що дозволяє координувати роботу всіх вузлів у реальному часі [2].

Суттєвим напрямом розвитку автомобільного транспорту є впровадження інтелектуальних систем сприйняття навколишнього середовища. Сучасні електромобілі використовують мультиспектральні сенсорні системи, що включають камери, радари та лідари. Обробка даних здійснюється за допомогою технології Sensor Fusion, яка формує єдину цифрову модель оточення [3]. Подальший аналіз виконується алгоритмами штучного інтелекту, що дозволяє ідентифікувати об'єкти, прогнозувати їх поведінку та забезпечувати роботу систем активної безпеки.

Однією з ключових особливостей енергетичної архітектури електромобіля є використання двох контурів напруги — високовольтного та низьковольтного. Високовольтна система забезпечує живлення тягового електродвигуна, тоді як низьковольтна система відповідає за

роботу електроніки керування, систем безпеки та допоміжного обладнання. Така структура підвищує надійність та безпечність функціонування транспортного засобу [4].

Сучасною тенденцією розвитку є інтеграція електроприводу у вигляді модулів типу E-Axle, які поєднують електродвигун, інвертор і редуктор в одному корпусі. Це дозволяє зменшити масу транспортного засобу, спростити компоновку, підвищити ефективність передачі енергії та збільшити внутрішній простір автомобіля. Такий підхід є одним із ключових напрямів вдосконалення конструкції електромобілів.

Перспективи розвитку автомобільного транспорту пов'язані з використанням твердотільних акумуляторів, технологій бездротової зарядки, мотор-коліс та автономного керування. Поєднання цих технологій дозволить створити нове покоління транспортних засобів з підвищеною енергоефективністю, автономністю та рівнем безпеки. Таким чином, розвиток мехатронних систем електромобілів є одним із ключових напрямів модернізації автомобільного транспорту та формування інтелектуальних систем мобільності майбутнього.

**Список використаних джерел**

1. Thangavel S., Mohanraj D., Girijaprasanna T., Raju S., Dhanamjayulu C., Muyeen S. M. A comprehensive review on electric vehicle: battery management system, charging station, traction motors // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 20994–21019. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3250221 .

2. Rimpas D., Kaminaris S. D., Aldarraji I., Piromalis D., Vokas G., Papageorgas P. G., Tsaramirsis G. Energy management and storage systems on electric vehicles: a comprehensive review // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 61, Part 3. P. 813–819. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.352.

3. Смирнов О., Борисенко А. Аналітичний огляд електронних та електромеханічних систем електромобілів Tesla // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2023. № 23. С. 27–35. DOI: https://doi.org/10.30977/VEIT.2023.23.0.3.

4. Брилистий В. В., Назарова О. С., Осадчий В. В. Вимірювання крутного моменту для дослідження енергетичних характеристик приводів електромобілів // Електротехніка та електроенергетика. 2021. № 4. С. 36–44. DOI: https://doi.org/10.15588/1607-6761-2021-4-4.

***Назарова Олена Сергіївна*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок, Національний університет «Запорізька політехніка», e-mail: nazarova16@gmail.com

***Міщенко Роман Вікторович*** – студент групи Е-314сп кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок, Національний університет «Запорізька політехніка», e-mail: rapena42@gmail.com

***Nazarova Olena*** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Electric Drive and Commercial Plant Automation Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University, e-mail: nazarova16@gmail.com

***Mishchenko Roman*** – student of the grope E-314сп of the Electric Drive and Commercial Plant Automation Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University, e-mail: rapena42@gmail.com

УДК 62-58:004.9

**Назарова О.С., Цикало А.А.**

# ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ У ВИРОБНИЦТВІ АВТОМОБІЛІВ

*Розглянуто актуальність застосування електропневматичних мехатронних систем для автоматизації процесів складання та зварювання в сучасному автомобільному виробництві. Показано, що інтеграція електропневматики з роботизованими виробничими лініями дозволяє підвищити швидкодію технологічних процесів, зменшити похибки складання та забезпечити стабільну якість автомобільної продукції.*
***Ключові слова:*** *мехатроніка, електропневматика, автомобіль, автоматизація.*

*The relevance of using electropneumatic mechatronic systems for automating assembly and welding processes in modern automotive production is considered. It is shown that integrating electropneumatics with robotic production lines increases the speed of technological processes, reduces assembly errors, and ensures stable quality in automotive products.*
***Keywords:*** *mechatronics, electropneumatics, automobile, automation.*

Сучасне автомобілебудування характеризується високим рівнем автоматизації технологічних процесів, що потребує використання швидкодійних, надійних та енергоефективних систем керування. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності виробництва є застосування електропневматичних мехатронних систем, які поєднують електронні блоки керування, пневматичні виконавчі механізми та сенсорні пристрої. Такі системи забезпечують автоматизацію операцій складання, зварювання, переміщення та фіксації деталей кузова автомобілів.

Електропневматичні системи широко використовуються у роботизованих виробничих лініях автомобільних заводів. Вони забезпечують точне позиціонування кузовних елементів, фіксацію деталей перед зварюванням, переміщення компонентів між технологічними станціями та автоматизоване встановлення скляних і пластикових елементів [1]. Застосування пневматичних приводів дозволяє досягти високої швидкості виконання повторюваних операцій, зменшити інерційність механізмів та підвищити продуктивність конвеєрних ліній.

Типовим прикладом є система фіксації дверей автомобіля перед зварюванням, яка реалізується на основі пневматичних затискачів із керуванням від програмованого логічного контролера. Після надходження кузова на позицію датчики визначають його положення, контролер формує керуючий сигнал, електромагнітний клапан подає стиснене повітря у пневмоциліндр, що забезпечує точне притискання деталей. Після завершення зварювання система автоматично повертається у вихідне положення, а датчики підтверджують завершення операції. До основних компонентів електропневматичних мехатронних систем належать пневмоциліндри двосторонньої дії, електромагнітні клапани, датчики положення, програмовані логічні контролери, система підготовки повітря та мережа пневматичних магістралей. Інтеграція цих елементів забезпечує високий рівень керованості, повторюваність технологічних операцій та можливість синхронізації з роботизованими комплексами.

Перевагами електропневматичних систем у автомобільному виробництві є висока швидкодія, простота обслуговування, надійність роботи у складних умовах, низька вартість експлуатації та можливість інтеграції з цифровими системами керування. Такі системи також забезпечують зменшення зносу механічних вузлів, підвищення точності позиціонування та ефективне поглинання вібрацій під час роботи обладнання [2].

Важливим напрямом застосування електропневматичних мехатронних систем є автоматизовані транспортні модулі виробничих ліній. Пневматичні підйомники, штовхачі та позиці-

онувальні пристрої забезпечують переміщення кузовів автомобілів між робочими зонами з високою швидкістю та точністю синхронізації з роботизованими комплексами. Завдяки використанню регуляторів тиску та дросельних елементів досягається плавність руху без ударних навантажень, що особливо важливо під час транспортування великогабаритних кузовних деталей. Окремим напрямом є застосування вакуумно-пневматичних маніпуляторів для встановлення лобового та бокового скла автомобілів. Такі системи використовують присоски, що працюють від стисненого повітря, і дозволяють безпечно переміщувати великі скляні панелі без ризику пошкодження. Використання електропневматичного керування забезпечує регулювання сили притискання, контроль положення та синхронізацію з роботизованими маніпуляторами. Це дає можливість автоматизувати операції, які раніше виконувалися вручну, підвищити точність встановлення скла та скоротити тривалість виробничого циклу [3].

Підвищення ефективності електропневматичних систем досягається також за рахунок використання сучасних засобів діагностики та безпеки. До складу систем входять датчики тиску, логічні модулі контролю стану, аварійні клапани скидання повітря та демпфери ударів, що запобігають перевантаженню виконавчих механізмів. Реалізація таких функцій дозволяє зменшити знос обладнання, підвищити надійність роботи виробничих ліній та забезпечити безпечні умови експлуатації. У результаті впровадження електропневматичних мехатронних систем підвищується продуктивність автомобільного виробництва, забезпечується стабільна якість продукції та зменшуються витрати на технічне обслуговування.

Застосування електропневматичних мехатронних систем дозволяє підвищити швидкість складання автомобілів, зменшити кількість виробничих дефектів, автоматизувати важкі технологічні процеси та підвищити безпечність виробництва. Таким чином, інтеграція електропневматики з сучасними засобами автоматизації є одним із ключових напрямів розвитку автомобільного транспорту та підвищення ефективності автомобільного виробництва.

**Список використаних джерел**

1. Xavier M. S. et al. Soft pneumatic actuators: a review of design, fabrication, modeling, sensing, control and applications // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 59442–59485. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3179589.

2. Nazarova O., Osadchyy V., Shulzhenko S., Olieinikov M. Software and hardware complex for the study of electropneumatic mechatronic systems // 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). Kremenchuk, Ukraine, 2022. P. 1–6. DOI: https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005698.

3. Osadchyy V., Hutsol T., Glowacki Sz., Nurek T., Hulevskyi V., Horetska I., Nazarova O. Mechatronic automatic control system of electropneumatic manipulator // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. P. 6970. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-56672-4.

***Назарова Олена Сергіївна*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок, Національний університет «Запорізька політехніка», e-mail: nazarova16@gmail.com

***Цикало Андрій Анатолійович*** – студент групи Е-314сп кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок, Національний університет «Запорізька політехніка», e-mail: alex.rema74@gmail.com

***Nazarova Olena*** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Electric Drive and Commercial Plant Automation Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University, e-mail: nazarova16@gmail.com

***Tsykalo Andrii*** – student of the grope E-314сп of the Electric Drive and Commercial Plant Automation Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University, e-mail: alex.rema74@gmail.com

УДК 371.214.2

**Нестер А.А., Дробот О.С.**

# ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ГАЛУЗІ АВТОТРАНСПОРТУ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

*З початком повномасштабного вторгнення (розпаду традиційних логістичних шляхів) збільшення кількості автомобільних перевезень спричинено потребою у швидкій доставці, лібералізацією вантажних перевезень з ЄС (транспортний безвіз) до 2027 року та цифровізацією. Автотранспорт став ключовим завдяки гнучкості та швидкості у зміні маршрутів. Кількість автомобілів та автомобільних перевезень породила необхідність збільшення фахівців цієї галузі, які повинні володіти знаннями Правил технічної експлуатації автомобільного транспорту для здійснення безпечної діяльності та проходити навчання з охорони праці.*
***Ключові слова**: автомобілі, охорона праці, інструктаж, елемент підвіски*

*With the start of the full-scale invasion (the collapse of traditional logistics routes), the increase in road transport is driven by the need for fast delivery, the liberalization of freight transport from the EU (transport visa-free regime) until 2027, and digitalization. Road transport has become key due to its flexibility and speed in changing routes. The number of vehicles and road transport has created a need for more specialists in this field, who must have knowledge of the Rules for the Technical Operation of Road Transport to carry out safe activities and undergo training in occupational safety.*
***Keywords**: automobiles, occupational safety, training, suspension component*

**Охорона праці студентів.** Робота майбутніх фахівців з автотранспорту повинна починатись з питань охорони праці оскільки тут велика частина робіт пов’язана з підвищеною небезпекою. Відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці працівники, які залучаються до виконання робіт підвищеної небезпеки або там, де є потреба в професійному доборі, повинні щорічно за рахунок роботодавця проходити спеціальне навчання з охорони праці. Спеціальне навчання – щорічне вивчення працівниками, які залучаються до виконання робіт підвищеної небезпеки або там, де є потреба в професійному доборі, вимог відповідних нормативно-правових актів з охорони праці. Роботи, пов'язані з управлінням наземним транспортом віднесено до Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі.

Обслуговування і ремонт елементів підвіски автомобілів, гідропідйомників на автомобілях-самоскидах та самоскидних причепах, їх зняття і установка віднесено до Переліку робіт з підвищеною небезпекою.

Все перераховане ставить особливі вимоги до вивчення фахових дисциплін та питань з охорони праці. Навчання з охорони праці (ОП) на автотранспорті є обов'язковим для водіїв та посадових осіб, які забезпечують безпечну експлуатацію транспортних засобів. Водії повинні проходити щорічне спеціальне навчання та перевірку знань, а відповідальні особи — при прийнятті на роботу та періодично (раз на 3 роки). Навчання охоплює правила безпеки, роботу з вантажами, технічний огляд та медичний контроль. Керування автотранспортним засобом не належить до робіт підвищеної небезпеки, однак роботи пов’язані з управлінням наземним транспортом, включені до переліку робіт, де є потреба у професійному доборі, затвердженому наказом Міністерства охорони здоров’я, Держнагляд охорони праці [1].

Дисципліна «Охорона праці…» для студентів за спеціальністю «Автомобільний транспорт» повинна бути спрямована на вивчення та засвоєння працеохоронних засад організації та виконання робіт у галузі автомобільного транспорту. У цій дисципліні представляються підходи та вимоги щодо забезпечення нормативних умов праці на автомобільному транспорті. Дисципліна повинна розглядати організаційні засади та документальне забезпечення

функціонування системи управління охороною праці, вимоги безпеки і гігієни праці під час виконання різноманітних виробничих процесів на автотранспортних підприємствах, зокрема під час експлуатації автотранспортних засобів, перевезення різних вантажів, зокрема небезпечних та сільськогосподарської продукції, технічне обслуговування і ремонтування автомобілів. Детально мають бути представлені небезпеки і шкідливості під час виконання робіт в автомобільній галузі та заходи для зниження виробничих ризиків. Важливо звернути увагу на засади ведення документації з охорони праці на автотранспортному підприємстві, вимоги електро- і пожежної безпеки.

Навчання з охорони праці (ОП) для студентів-автомобілістів включає вивчення безпечних методів експлуатації, технічного обслуговування (ТО) та ремонту автотранспорту. Воно охоплює інструктажі (вступний, первинний), спеціальне навчання з пожежної безпеки, електробезпеки та вимог ДСТУ, часто у формі тестів або іспитів.

Основні теми, які висвітлюють спеціальність та відображають головні розділи: техніка безпеки при проведенні ТО та ремонту, правила поводження з паливно-мастильними матеріалами, безпечна робота з інструментами, робота на підйомниках та робота в оглядових канавах.

Вступний інструктаж з студентами проводиться на початку навчання або виробничої практики, первинний інструктаж на робочому місці перед початком робіт. Інструктаж проводиться спеціалістом з охорони праці підприємства або особою, яка пройшла відповідне навчання та призначена наказом по підприємству, за програмою вступного інструктажу, із занесенням результатів до Журналу реєстрації вступного інструктажу з питань охорони праці. Первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі проводяться безпосереднім керівником робіт за інструкціями з охорони праці відповідно до виду виконуваних робіт, із занесенням результатів до Журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці на робочому місці.

Спеціальне навчання є обов'язковим для робіт з підвищеною небезпекою, що виконуються на автотранспорті.

Перевірка знань студентів здійснюється комісією у формі тестів або екзаменаційних білетів. За результатами навчання оформляються протоколи перевірки знань та записи в журналах інструктажів. Студенти, які проходять практику, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) та пройти інструктаж, аналогічний персоналу підприємства.

**Охорона праці працівників автомобільного транспорту**. Водіїв допускають до робіт, не пов’язаних з керуванням автомобілем, після проведення інструктажу за відповідною інструкцією з охорони праці:

- з технічного обслуговування та ремонту автомобіля — за інструкцією з охорони праці для слюсаря з ремонту автомобілів;
- з обслуговування акумуляторів — за інструкцією з охорони праці для акумуляторщика;
- з використанням ручного електроінструменту — за інструкцією з охорони праці під час робіт з ручним електрифікованим інструментом;
- шиномонтажних — за інструкцією з охорони праці під час виконання шино монтажних робіт;
- вантажно-розвантажувальних робіт вручну — за інструкцією з охорони праці під час виконання вантажно — розвантажувальних робіт вручну.

Згідно Порядку проведення інструктажів та стажування водіїв колісних транспортних засобів, затвердженому наказом Міністерства транспорту та зв’язку України від 05.08.2008 р. № 975 з водіями колісних транспортних засобів проводять інструктажі:

- вступний — спеціалістом служби безпеки дорожнього руху або особою, на яку покладено виконання функцій цієї служби, із занесенням результатів до журналу реєстрації вступного інструктажу з безпеки руху (при прийнятті на роботу);
- первинний — безпосереднім керівником водія (перед початком роботи);
- передрейсовий (цільовий) — керівником підприємства, його заступниками, спеціалістами служби безпеки дорожнього руху або особою, на яку покладено виконання функцій

цієї служби або іншими кваліфікованими спеціалістами (щоразу перед виїздом на лінію (маршрут);

- періодичний (повторний) — безпосереднім керівником водія, за необхідності — спеціалістами служби безпеки руху або особою, на яку покладено виконання функцій цієї служби;

- позаплановий (спеціальний) — у кабінеті безпеки дорожнього руху, диспетчерських на підприємствах, по гучномовцю під час виїзду водіїв за межі підприємства, через мобільні телефони (у разі зафіксованого порушення Правил дорожнього руху, появи небезпечних ділянок на лінії (маршруті), можливості настання особливо складних метеорологічних чи дорожніх умов тощо). Результати інструктажів заносять до Журналу реєстрації інструктажів з безпеки руху [2].

Всі перераховані документи мають бути включені до програми навчання та доведені до студентів, які мають в майбутньому працювати із транспортом чи на транспорті та відповідно бути готовим до проведення таких занять з персоналом.

**Вимоги до обладнання, приміщен**ь. Освітлення навчальних приміщень має відповідати вимогам відповідного стандарту Визначаючи коефіцієнт природного освітлення навчально-виробничих приміщень навчальних закладів, їх треба прирівнювати до приміщень виробничих будівель з точними роботами (III розряд робіт). Вікна та інші світлові отвори не дозволяється захаращувати інструментом, пристроями, навчально-наочними посібниками та іншими предметами. Віконні шибки потрібно очищати від пилу й бруду не рідше ніж два рази на рік.

Електрообладнання у навчальних приміщеннях повинно відповідати вимогам “Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

Електрична частина освітлювальних установок (напруга, виконання і захист освітлювальних мереж, заземлення тощо) повинна відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок. Електропостачання робочих місць студентів має здійснюватися від розподільного щита, встановленого біля робочого місця інструктора.

Двигун внутрішнього згоряння (далі – ДВЗ) та агрегати для розбирання і складання встановлюють на спеціальних підставках. Кріплення агрегатів має унеможливити їх зміщення або падіння. Пристрої, що дають змогу повертати агрегати в стенді в потрібне положення, обладнують фіксаторами, які унеможливлюють самовільне повертання агрегатів.

Стенди розміщують так, щоб агрегати можна було встановлювати за допомогою підйомно-транспортних механізмів. Агрегати й механізми, що встановлюються на стендах, мають бути ретельно очищеними.

Розбирати й складати агрегати автомобіля дозволяється тільки на спеціальних стендах. Розміщувати деталі, складальні одиниці й механізми автомобілів, а також пристрої для практичних і виробничих робіт треба в шафах, на стелажах. Шафи, стелажі тощо слід установлювати так, щоб вони не захаращували проходів і не заважали вільно користуватись обладнанням майстерень. Висота складування повинна бути не вище 1 м.

Для забезпечення стійкості складених предметів застосовують спеціальні підставки, прокладки, підпори тощо. Навчально-наочні приладдя, що розміщені на стелажах, не повинні виступати за їх межі. Для установки навчально-наочного приладдя на верхніх полицях стелажів слід користуватися драбиною-стрем'янкою з гумовими кінцівками.

Рухомі частини навчально-наочних посібників треба захищати сітчастими кожухами заввишки до 2 м від рівня підлоги. Для зберігання колінчастого й розподільного валів двигунів, рульових керувань і карданних валів використовують спеціальний стелаж типу “гірка”.

Установлений у лабораторії автомобіль має бути надійно закріплений. Один бік автомобіля може бути піднятим і встановленим на спеціальні підставки (козли). Під колесами з іншого боку встановлюють підпори (башмаки). Конструкція козлів повинна бути жорсткою, міцною, стійкою.

Розбирати й складати агрегати необхідно тільки на тих стендах, що призначені для даної марки автомобіля. Справність обладнання та його засобів захисту перевіряє до початку роботи особа, яка проводить навчання з автосправи. Працювати на несправному обладнанні не дозволяється.

Поблизу робочого місця особи, яка проводить навчання з автосправи, повинен бути перемикач (кнопка «Стоп») для знеструмлення всього обладнання лабораторії.

Конструкція оглядової канави на посту обслуговування автомобілів у лабораторії технічного обслуговування та експлуатації автотранспортних засобів визначається вимогами ДНАОП 0.00-1.28-97. Якщо підлога лабораторії технічного обслуговування та експлуатації автотранспортних засобів покрита цементом, бетоном, природним каменем тощо, то на робочих місцях треба встановлювати дерев'яні настили. Якщо автомобіль стоїть у приміщенні лабораторії технічного обслуговування та експлуатації автотранспортних засобів, його двигун повинен бути вимкненим (при умові відсутності відсмоктувачів відпрацьованих газів).

Розміщення обладнання (електросолідолонагнітач, пересувний компресор, маслороздавальний бак, гідравлічний домкрат тощо) повинно відповідати навчально-виробничому процесу, нормативам розміщення обладнання та умовам його роботи.

Справність і працездатність обладнання перевіряє до початку роботи особа, яка проводить навчання з автосправи. Пуск і зупинка обладнання та механізмів мають бути безпечними, а пускові пристрої — зручними в обслуговуванні.

Візки для транспортування агрегатів і механізмів повинні мати стояки і підпори, що захищають агрегати від падіння і самовільного переміщення по платформі.

**Використання матеріалів.** Робота з автотранспортом вимагає використання різноманітних матеріалів, пов’язаних з дієвістю їх в специфічних умовах тому вивчення предмету «матеріалознавство» є важливим елементом в набутті компетентностей, яких вимагає освітньо-професійна програма, яка повинна формувати особистості фахівця, здатного розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в професійній освіті на основі сучасних освітніх теорій, методів та технологій професійного навчання.

Отже, тільки клопітливою роботою студентів, викладачів та персоналу можна кардинально впливати на ситуацію щодо зменшення нещасних випадків в галузі автотранспорту.

**Список використаних джерел**

1. Мінсоцполітики України, наказ 30.01.2017 № 140 Про внесення змін до наказу Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0234-17#n23

2. Мінтранспорту та зв’язку України. Наказ 05.08.2008 N 975. Про затвердження Порядку проведення інструктажів та стажування водіїв колісних транспортних засобів. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-08#Text

3. ДНАОП 0.00-1.28-97. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. URL : https://dnaop.com/html/33085/doc-%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_0.00-1.28-97

***Нестер Анатолій Антонович*** – д.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної безпеки, Хмельницький національний університет, e-mail: nesteranatol111@gmail.com

***Дробот Ольга Савівна*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, e-mail: pion12208@gmail.com

***Anatoliy Antonovich Nester*** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction and Civil Safety, Khmelnytsky National University, e-mail: nesteranatol111@gmail.com

***Drobot Olga Savivna*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytsky National University, e-mail: pion12208@gmail.com

УДК 623.4:007.5:629.3:629.07

**Нікорчук А.І.**

# ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

*На підставі статистичного аналізу показника рівня енергетичної завантаженості наземних роботизованих комплексів визначені межі інтервалів даного показника та запропонована інтервальна шкала оцінювання, що забезпечує коректний порівняльний аналіз комплексів різних масових груп і може бути використана для оцінювання динаміко-енергетичних властивостей, а також для обґрунтування раціональних технічних рішень на етапах проєктування та модернізації комплексів.*

***Ключові слова:*** *наземні роботизовані комплекси; динамічні властивості; рівень енергетичної завантаженості; статистичний аналіз; інтервальна шкала оцінювання.*

*Based on the statistical analysis of the energy load level indicator of ground robotic systems, the boundaries of the indicator intervals have been determined and an interval-based evaluation scale has been proposed. This scale ensures a correct comparative analysis of systems belonging to different mass groups and can be used to assess dynamic and energy-related properties, as well as to substantiate rational technical solutions at the stages of system design and modernization.*

***Key words:*** *ground robotic systems; dynamic properties; energy load level; statistical analysis; interval evaluation scale.*

Широкий вибір наземних роботизованих комплексів зумовлює необхідність аналізу та порівняння їхніх тактико-технічних характеристик з метою встановлення відповідності фактичних параметрів зразка характеристикам, заявленим виробником, а також визначення можливостей зразка щодо виконання певних завдань. У зв'язку з цим виникає потреба у розроблені нових та використанні відомих узагальнених показників, що дозволяють кількісно оцінити енергетичні та динамічні властивості комплексів. Одним із таких показників є рівень енергетичної завантаженості, який застосовується для оцінювання динамічних характеристик автомобілів і може бути адаптований для оцінювання енергетичних характеристик наземних роботизованих комплексів.

В роботі [1] автором запропоновано при проектуванні і оцінці динамічних властивостей автомобілів використовувати показник енергетичної завантаженості, який представляє собою відношення максимальної потужності двигуна до максимального значення кінетичної енергії поступального руху автомобіля. Цей показник враховує потужністні, інерційні і швидкісні параметри автомобіля, але для проведення аналізу тактико-технічних характеристик НРК не застосовувався.

Рівень енергетичної завантаженості автомобіля визначається наступною залежністю

$$Y_W = \frac{2N_{e\max}}{m_{пов}V_{\max}^2}, \qquad (1)$$

де $N_{e\max}$ – максимальна потужність двигуна, кВт.

$m_{пов}$ – повна маса автомобіля, кг;

$V_{\max}$ – максимальна швидкість автомобіля, м/с.

Показник $Y_W$ характеризує енергетичну забезпеченість системи – тобто співвідношення між наявним енергетичним потенціалом силової установки та кінетичним завантаженням, що визначається масою та максимальною швидкістю платформи. На відміну від традиційних ене-

ргетичних чи кінематичних коефіцієнтів, цей показник враховує одночасно енергетичний і динамічний стан системи, відображаючи її здатність реалізовувати рух без перевантаження силової установки.

За виразом (1) визначено рівні енергетичної завантаженості 46 наземних роботизованих комплексів різних масових груп (легка, середня, важка).

Результати узагальнених статистичних показників наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Статистичні показники рівня енергетичної завантаженості наземних роботизованих комплексів за масовими групами

| Група | К-ть спостере-жень | $Y_{W_{min}}$ | $Y_{W_{max}}$ | Середнє значення, $\bar{x}$ | Середнє квадратичне відхилення, σ | Медіана, *Me* | К-т варіації, *V*σ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Легка | 8 | 0,173 | 1,554 | 0,78 | 0,46 | 0,66 | 0,59 |
| Середня | 26 | 0,269 | 5,128 | 1,93 | 1,34 | 1,7 | 0,69 |
| Важка | 12 | 0,029 | 3,044 | 0,85 | 0,92 | 0,48 | 1,08 |
| Загальна | 46 | 0,029 | 5,128 | 1,44 | 1,25 | 1,24 | 0,86 |

Отримані результати показали, що коефіцієнти варіації для трьох масових груп наземних роботизованих комплексів становлять: для легкої групи – 0,59, середньої – 0,69, важкої – 1,08. Усі досліджені групи демонструють високу мінливість рівня енергетичної завантаженості, що свідчить про значну неоднорідність показників у межах кожної категорії (таблиця 2).

З метою зменшення високої мінливості показників та підвищення статистичної однорідності вибірки здійснено додаткову класифікацію об'єктів усередині масових груп**.** Поділ на підгрупи дозволив виділити більш однорідні за енергетичними параметрами множини, для яких середні та дисперсійні характеристики стали статистично стабільнішими.

Для поділу на підгрупи використано кластерний аналіз [2, 3] з використанням методу *k*-середніх. Цей метод дає змогу об'єднати спостереження у кластери за критерієм мінімізації внутрішньогрупової дисперсії. Мета методу k-середніх полягає у поділі множини об'єктів на групи так, щоб відстань між елементами всередині кожного кластера була мінімальною, а між кластерами – максимальною. Математично задача кластеризації зводиться до мінімізації суми квадратів відстаней між елементами та центрами їх кластерів (2)

$$J = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} \left\| x_i^{(j)} - \mu_j \right\|^2 \qquad (2)$$

де $\mu_j$ – центр $j$ – го кластера,

$\left\| x_i^{(j)} - \mu_j \right\|$ – евклідова відстань між спостереженнями і центром кластера,

$k$ - загальна кількість кластерів,

$n_j$ - кількість елементів у кластері.

Ітераційна процедура методу *k*-середніх полягає у послідовному уточненні центрів кластерів:

1. Випадковим чином обираються початкові *k* центрів.
2. Кожне спостереження відноситься до найближчого центру за мінімальною відстанню.
3. Центри кластерів перераховуються за формулою (3):

$$\mu_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} x_i^{(j)} \qquad (3)$$

4. Кроки 2–3 повторюються доти, поки зміни центрів не стають незначними, тобто $J$ досягає мінімуму.

У результаті кластеризації отримано поділ груп НРК на кластери, результати наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати кластеризації показника рівня енергетичної завантаженості $Y_W$ НРК методом *k*-середніх

| Кластер | Діапазон значень $Y_W$ | Середнє значення, $\bar{x}$ | Середнє квадратичне відхилення, σ | Медіана, *Me* | К-т варіації, *Vσ* |
|---|---|---|---|---|---|
| Легка група | | | | | |
| 1 | 0,173 – 0,374 | 0,273 | 0,14 | 0,27 | 0,52 |
| 2 | 0,601– 0,92 | 0,71 | 0,14 | 0,66 | 0,20 |
| 3 | 1,276 – 1,554 | 1,41 | 0,19 | 1,41 | 0,14 |
| Середня група | | | | | |
| 1 | 0,269 – 1,082 | 0,589 | 0,318 | 0,58 | 0,54 |
| 2 | 1,413 – 2,951 | 2,058 | 0,5 | 1,8 | 0,24 |
| 3 | 4,5 – 5,128 | 4,88 | 0,327 | 5 | 0,067 |
| Важка група | | | | | |
| 1 | 0,029 – 0,560 | 0,3109 | 0,1978 | 0,3147 | 0,63 |
| 2 | 2,150 – 3,044 | 2,5968 | 0,6318 | 2,5968 | 0,24 |
| 3 | 1,232 – 1,251 | 1,2414 | 0,0137 | 1,2414 | 0,01 |

Аналіз даних таблиці показав, що у кожній групі наявні кластери з коефіцієнтом варіації, який перевищує 33 %, що свідчить про значну неоднорідність значень усередині цих кластерів. У зв'язку з цим кластери з коефіцієнтом варіації $V\sigma > 33\%$ доцільно розглядати як окремі кластери (самостійні), оскільки вони відображають підвищену неоднорідність вибірки.

Водночас визначені діапазони значень рівня енергетичної завантаженості в межах кластерів (таблиця 3) не можна безпосередньо вважати діапазонами підгруп. Для забезпечення безперервності шкали рівня енергетичної завантаженості НРК межі підгруп уточнені за правилами побудови інтервальних рядів: спільні межі визначені як середини між верхньою межею попереднього та нижньою межею наступного інтервалу [4].

Таблиця 4 – Інтервали підгруп та відповідні рівні енергетичної завантаженості НРК легкої, середньої та важкої групи.

| Групи | Рівні енергетичної завантаженості $Y_W$ | Прийнятий діапазон значень $Y_W$ в групах | Граничні значення рівнів енергетичної завантаженості $Y_W$ |
|---|---|---|---|
| Легка | Низький | 0,17 – 0,49 | $Y_W < 0{,}5$ |
| | Середній | 0,49 – 1,10 | $0{,}5 \le Y_W \le 1$ |
| | Високий | 1,10 – 1,55 | $Y_W > 1$ |
| Середня | Низький | 0,27 – 1,25 | $Y_W < 1$ |
| | Середній | 1,25 – 3,72 | $1 \le Y_W \le 4$ |
| | Високий | 3,72 – 5,13 | $Y_W > 4$ |
| Важка | Низький | 0,03 – 0,90 | $Y_W < 1$ |
| | Середній | 0,90 – 1,70 | $1 \le Y_W \le 2$ |
| | Високий | 1,70 – 3,04 | $Y_W > 2$ |

Отримані розрахунки інтервалів підгруп та відповідні рівні енергетичної завантаженості наведено в таблиці 4.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що рівень енергетичної завантаженості є інформативним узагальненим показником, який може бути успішно адаптований для аналізу наземних роботизованих комплексів різних масових категорій.

На основі статистичного аналізу встановлено значну варіацію енергетичних характеристик між групами, що зумовлено відмінностями у конструкції, типі приводу та призначенні НРК.

Для масових груп НРК визначено підгрупи та відповідні рівні енергетичної завантаженості, що забезпечило формування узгодженої шкали енергетичних характеристик. Отримана шкала може бути використана для порівняльного аналізу, оцінювання ефективності та оптимізації енергетичних параметрів наземних роботизованих комплексів.

**Список використаних джерел**

1. Мазін О. С. Підвищення енергоефективності автомобілів при маневруванні зниженням непродуктивних втрат енергії : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Харків, 2020. 20 с.
2. Пістунов І.М., Антонюк О.П., Турчанінова І.Ю. Кластерний аналіз в економіці: Навч. Посібник. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 84 с.
3. Клебанова Т.С., Гур'янова Л.С., Чаговець Л.О. та ін. Бізнес-аналітика багатовимірних процесів : навчальний посібник. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2018. 272 с.
4. Лугінін О.Є. Підручник. 2-е видання, перероблене та доповнене. К.: Центр учбової літератури, 2007. 608 с.

***Нікорчук Андрій Іванович*** **–** канд. техн. наук, доцент, докторант докторантури та ад'юнктури Національної академії Національної гвардії України (61001, м. Харків, м-н Захисників України, 3, e-mail: nikorchuk@ukr.net)

***Andrii Nikorchuk*** **–** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Doctoral Student of the Doctoral and Adjuncture Programs, National Academy of the National Guard of Ukraine, (61001, Kharkiv, Mr. Zahisnikov Ukrainy, 3, e-mail: nikorchuk@ukr.net)

УДК 629.113.004:658.562

**Огневий В.О., Науменко Д.В.**

# ПРОБЛЕМАТИКА НАДАННЯ СИТУАТИВНОЇ ДОПОМОГИ У КОРИСТУВАННІ МІСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ ОСОБАМИ З ОБМЕЖЕНИМИ ФІЗИЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

*У тезі досліджено особливості надання ситуативної допомоги у користуванні міським пасажирським транспортом особами з обмеженими фізичними можливостями.*
***Ключові слова:*** *перевезення, люди з обмеженими фізичними можливостями, транспорт, мобільність, допомога.*

*The thesis examines the features of providing situational assistance in using urban passenger transport by people with physical disabilities.*
***Keywords:*** *transportation, people with disabilities, transport, mobility, assistance.*

В умовах сьогодення існує нагальна проблема забезпечення доступності транспортної інфраструктури для самостійного використання людьми з інвалідністю. З метою виключення дискримінації за ознакою інвалідності вводиться поняття «ситуативна допомога», коли спільними зусиллями долаються непереборні бар'єри. Обов'язки щодо забезпечення доступності перевезень та обслуговування пасажирів з інвалідністю на міському транспорті покладаються на власників об'єктів міської транспортної інфраструктури.

Разом з тим, існує низка невирішених проблем, пов'язаних з організацією, оцінкою та забезпеченням необхідного рівня доступності рухомого складу міського пасажирського транспорту МПТ та об'єктів транспортної інфраструктури, навчанням персоналу, інформуванням населення про доступність транспортних послуг.

На автостанціях використання острівних платформ не рекомендується для обслуговування пасажирів з обмеженими фізичними можливостями. Майданчики з прибережним, півострівним або пірсовим розташуванням на міжміських автостанціях повинні бути обладнані стаціонарними або пересувними підйомниками для посадки/висадки людей з інвалідністю з автобусів, не обладнаних такими засобами.

Серед необхідних дій – оснащення об'єктів транспортної інфраструктури, призначених для обслуговування пасажирів, низько розташованими телефонами з функцією регулювання гучності, текстофонами для зв'язку з інформаційними та аварійними службами; дублювання звукової та візуальної інформації, необхідної для пасажирів з інвалідністю, виконаної великим шрифтом, у тому числі з використанням точкового рельєфу Брайля.

Крім того, пасажирам з інвалідністю надаються безкоштовні додаткові послуги, такі як: допомога в пересуванні територією об'єкта транспортної інфраструктури, призначеної для обслуговування пасажирів, у тому числі при посадці/виході з транспортного засобу; допомога в реєстрації та отриманні багажу; допуск собаки-поводиря за наявності документа, що підтверджує її спеціальну підготовку.

В дорозі безпосередньо в транспортному засобі перевізник надає наступні послуги пасажиру з обмеженими можливостями, в тому числі при перевезенні транспортного засобу на замовлення, без додаткової оплати:

1) забезпечення посадки та висадки з транспортного засобу, у тому числі із застосуванням спеціальних вантажопідіймальних пристроїв для пасажирів з інвалідністю, які не мають можливості самостійно пересуватися;

2) перевезення собак-поводирів за спеціальним документом;

3) перевезення інвалідного візка пасажира з обмеженими можливостями.

На рівні місцевої влади приймаються нормативні акти, що встановлюють особливий статус пасажирів з обмеженими фізичними можливостями з одночасним покладанням певних

обов'язків на водіїв транспортних засобів (табл. 1).

Таблиця 1 – Ситуаційна допомога інвалідам різних категорій на транспортних об'єктах

| Об'єкти транспорту | Ситуативна допомога | | |
|---|---|---|---|
| | Людям з обмеженими фізичними можливостями на візку | Сліпим та слабозорим | Людям з обмеженими можливостями самообслуговування |
| Громадський транспорт – автобус, тролейбус | Допомога при вході і виході з транспорту | Допомога при вході і виході з транспорту. Допомога з придбанням проїзних квитків | Допомога в посадці та висадці з транспорту, допомога в купівлі проїзних квитків |
| Вокзали всіх видів транспорту | Допомога при вході і виході, людині на милицях надається візок на вході, допомога в пересуванні всередині станції, підйомник при наявності сходів або ліфта. Допомога з реєстрацією та здачею багажу, допомога з відвідуванням туалету | Допомога при вході і виході зі станції, супровід в пересуванні по станції. Допомога у вивченні розкладу. Допомога з оформленням квитків, допомога з реєстрацією та реєстрацією багажу, допомога з отриманням багажу, допомога з відвідуванням туалету | Допомога при вході та виході зі вокзалу, допомога з придбанням квитків, допомога з реєстрацією та реєстрацією багажу, допомога з отримання багажу, допомога з відвідування туалету |
| Транспортні агентства, квиткові павільйони | Допомога при вході та виході | Допомога при вході та виході, отриманні інформації та купівлі квитків | Допомога з входом і виходом, допомога з покупкою квитків |

Наприклад, водій зобов'язаний забезпечити безпечну посадку і висадку, а також комфортні умови для проходу людей на візочках, людей з порушеннями опорно-рухового апарату, осіб з порушеннями зору і слуху.

Пасажирам з дитячою коляскою, інвалідам з порушеннями опорно-рухового апарату, слабозорим особам з собакою-поводирем або з білою тростиною дозволяється заходити в трамвай, тролейбус, автобус, обладнаний турнікетами, через другі двері після виходу пасажирів.

Особам на кріслах колісних дозволяється заходити в трамвай, тролейбус або автобус, спеціально обладнаний для людей з інвалідністю, через другі двері після виходу пасажирів.

**Список використаних джерел**

1. Доля В.К. Організація пасажирських перевезень у містах / Доля В.К. Х.: Нове слово 2002. – 140с.

2. Reedy, J. Marketing to consumers with disabilities-how to identify and meet the growing market needs of 43 million Americans. Probus Publishing Company, Chicago / J. Reedy // Tourism and Hospitality Research September. – 2007. – № 7. – P. 212–229.

3. Safronov, K. Transport for people with disabilities / K. Safronov // Proceedings "Technics. Technologies" : XVI International Scientific-Technical Conference trans & MOTAUTO '09. Sea resort Sunny Beach-Bulgaria. September, 17th19th. – 2009. – P. 129–132.

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

***Науменко Дмитро Валерійович*** — студент групи 1ТТ-22б, факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету.

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

***Naumenko Dmytro Valeriyovych*** is a student of group 1TT-22b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University.

УДК 691.175

**Оліскевич М.С., Хомин Н.Я.**

# ПІДГОТОВКА ВЕЛИКИХ НАБОРІВ ДАНИХ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ГРАФІКІВ РОБОТИ ВОДІЇВ МІЖМІСЬКИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

*Розглядається проблема використання великих даних для оптимального планування роботи та відпочинку водіїв вантажівок у міжміських вантажних перевезеннях. Велика розмірність проблеми стає такою, що її неможливо вирішити навіть за допомогою метаевристичних методів. У цій роботі нами використовується кластеризація вихідних даних, набір часткових задач вирішується на паралельних обчисленнях. Обґрунтовано раціональний діапазон коефіцієнта сумісності для якісної підготовки великого набору даних.*

***Ключові слова:*** *вантажні автомобільні перевезення, оптимізація розкладу руху водіїв, великі дані, кластеризація, сумісність замовлень.*

*The problem of using big data for optimal planning of work and rest of truck drivers in intercity freight transportation is considered. However, the large dimension of the problem becomes such that it cannot be solved even using metaheuristic methods. In this work, we use clustering of the initial data, a set of partial problems is solved using parallel calculations. A rational range of the compatibility coefficient for high-quality preparation of a large data set is substantiated.*

***Key words:*** *mathematical model, diagnostics, car, steering, diagnostics matrix, flowchart, malfunction, malfunction sign, Boolean function.*

Через тривожну тенденцію нестачі водіїв комерційних транспортних засобів у всьому світі, дослідження ефективності транспортних систем все частіше проводяться на основі критеріїв підвищення продуктивності праці та зменшення кількості необхідного персоналу [1]. Одним із найефективніших способів вирішення цієї проблеми на даний час є використання вдосконаленої логістики у вигляді більш детальних та точних графіків роботи водіїв [2]. Однак проблема також ускладнюється тим, що тривалість роботи, керування та відпочинку водіїв регулюється Європейською угодою 561/2006 з мотивацією безпеки та гігієни праці [3]. Для забезпечення злагодженої роботи команди водіїв та вантажних перевезень з мінімальними непродуктивними втратами часу (простої, марний пробіг, очікування в черзі) необхідно скласти щільний графік роботи для достатньо великої команди водіїв, оскільки ефективність алгоритму його побудови зростає з використанням хмарних обчислень [4]. Однак, незважаючи на досить велику кількість відомих досліджень, багатоцільові задачі оптимізації розкладів залишаються NP-складними в повному сенсі з поліноміальною складністю. Традиційно для таких задач певною мірою успішно використовувалися евристичні та метаевристичні методи розв'язання. Вибір ефективного алгоритму оптимізації також важливий у сучасних інформаційних системах транспортних підприємств, де обробка великих обсягів даних та прийняття рішень у режимі реального часу стає рутинним процесом. Результати порівняльного аналізу показали, що жоден з відомих алгоритмів не є універсальним для всіх типів завдань.

Наші зусилля були спрямовані на підготовку вихідних даних, що стосуються параметрів відомих вантажних замовлень, які стосуються множини зацікавлених вантажних перевізників, підключених до мережі планування. Метою була розробка такого критерію структурування потоку даних, згідно з яким великий обсяг даних дозволить використовувати хмарні обчислення, з одного боку, та надасть можливість успішно застосовувати метаевристичні методи для вирішення різних задач планування транспортних процесів, насамперед, складання розкладів для водіїв різних перевізників, підключених до мережі хмарних обчислень. Для досягнення поставленої мети були вирішені такі завдання: (1) обґрунтувати критерій обробки вихідних даних таким чином, щоб він забезпечував дотримання умов та обмежень роботи

кількох команд водіїв та їхньої взаємодії та давав можливість обробляти великі обсяги вихідних даних; (2) дослідити вплив масштабу вхідних даних на їх адаптивність до використання евристичних алгоритмів оптимізації планування.

У попередніх дослідженнях ми розробили методику оптимізації розкладу роботи бригади водіїв вантажівок, які працюють на обмеженій території і застосовують змінний метод роботи, використовуючи критерій мінімальної загальної тривалості виконання проекту [5]. Методика базується на впорядкуванні змішаних (диз'юнктивних) графів $G(Q, V, U)$, де $Q$ – множина вершин $Q=\{q_1,q_2\ldots q_N\}$, $V, U$ – множини, відповідно, ребер і дуг, кожній з яких надано вагу $a_{i,j}$, $i,j=1..N$. Такі графи містять контури додатної ваги, тому за ними неможливо скласти однозначного розкладу. Для подолання цієї перепони потрібно, насамперед, видалити усі ребра $V$, або замінити їх на дуги. Від того, як було вчинено з кожним ребром $v_{i,j}$ (видалено, або замінено на дугу $u_{i,j}$, або $u_{j,i}$) залежить мінімальна гарантована тривалість виконання усього проекту. Ця величина є довжиною в масштабі часу критичного ланцюга в графі без петель і контурів. Однак, навіть в графі без ребер можуть бути контури, або ізольовані вершини, які унеможливлюють пошук критичного шляху від фіктивної вершини $q_0$, яка символізує формальний початок до вершини $q_N$, яка символізує формальний кінець проекту. Нами було удосконалено відомий алгоритм впорядкування графів. Було застосовано емпіричний принцип, в якому застосовано непряму ознаку оптимальності графа $G(Q,U)$, який не містить контурів. Алгоритм дає задовільну оцінку оптимальності – $\inf(T_{\min})$, де $T_{\min}$ – мінімальна тривалість проекту при розмірності задачі $Q\leq 40$ вершин. Далі, при збільшенні кількості вершин на 10 точність оцінки оптимуму знижується більш, ніж на 7% і ця похибка експоненційно зростає разом із збільшенням числа вершин $Q$. Таким чином алгоритм, заснований на впорядкуванні змішаного графа, є ефективним при невеликому обсязі вершин, а також конфліктних ребер, чи дуг. З іншого боку, якщо в початковому графі $G$ немає ребер, або контурів, то він однозначно визначає розклад роботи кожного водія. Такий результат є тривіальним і не містить предмету оптимізації. Ці факти встановлюють обмеження на розмір початкових даних для задачі побудови розкладу бригади водіїв при використанні евристичного алгоритму на кон'юктивних графах. Для підготовки початкових даних потрібен додатковий критерій, який приведе до підвищення ефективності розкладу.

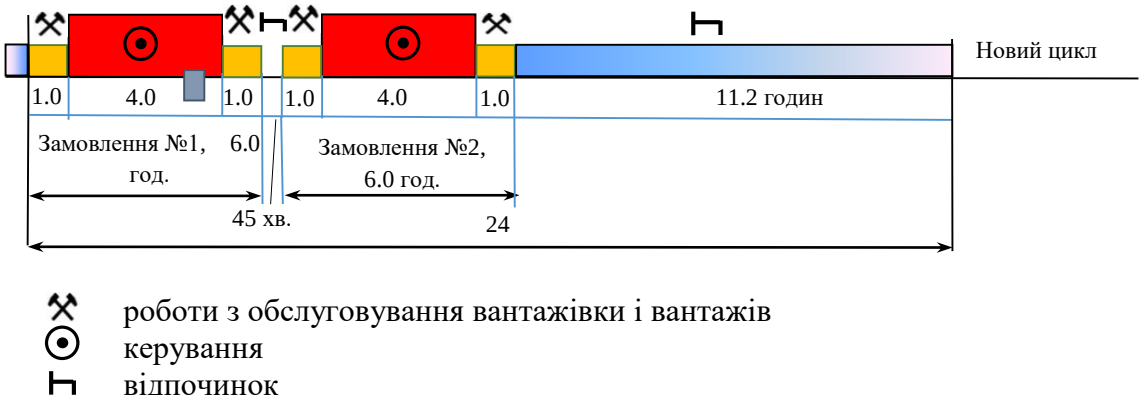



Рисунок 1 – Ідеалізована схема режимів роботи і відпочинку водія при виконанні двох послідовних замовлень №№ 1, 2 в межах однієї зміни

Тривалість керування, зміни, і відпочинку водіїв є обмежена регламентом ЄС 561/2006 з усіма його змінами, почергово внесеними до правил [3]. Зміна водія складається з часу керування транспортним засобом, безперервна тривалість якого не може перевищувати 4,5 год. Загальна тривалість керування впродовж зміни не може перевищувати 9 годин, або як виключення 10 годин, але тільки двічі на тиждень. Впродовж зміни водій повинен мати змінний відпочинок не менше, ніж 45 хв. Між змінами водій повинен мати відпочинок, не менший 11 год. Дозволяється тривалість змінного і міжзмінного відпочинку поділяти. В

обов'язки водія входить також виконання навантажувально-розвантажувальних операцій, підготовчі операції (кріплення, контроль цілісності вантажу), охорона вантажівки на стоянках, технічний огляд та обслуговування транспортного засобу. Усі ці роботи, разом з керуванням входять в 13-годинний цикл роботи.

Нехай дано два замовлення №№1,2, тривалість кожного з яких становить 4 години (рис. 1). Замовлення являють собою перевезення вантажів між парами транспортних пунктів. При цьому кінцевий пункт замовлення №1 є початковим пунктом замовлення №2. Тому послідовність виконання замовлень одним водієм на одній вантажівці призведе то того, що в такому транспортному циклі будуть відсутні холості пробіги й марний простій. Необхідний змінний відпочинок водія становить нормативну величину 45 хв. Тривалість безперервного керування, сумарна тривалість керування, а також тривалість робочої зміни не відрізняється від дозволеної нормативної. Тому таку схему можна вважати ідеалізованою.

Замовлення, які відрізняються за тривалістю характерних періодів від ідеалізованої сумісності, назвемо частково сумісними. Степінь сумісності замовлень визначаємо за коефіцієнтом, який має зміст порівняння реальної сумісності з ідеальною:

$$R_c = \begin{cases} \dfrac{cargo}{cargo + idle + rest + loading}, (cargo + idle) \geq 4.5 \\ \dfrac{\left|4.5 - (cargo + idle)\right|}{4.5}, (cargo + idle) \leq 4.5 \end{cases}, \quad (1)$$

де *cargo* – тривалість поїздки з вантажем впродовж циклу; *idle* – тривалість марних їздок впродовж циклу; *rest* – фактична тривалість відпочинку водія впродовж циклу; *loading* – тривалість вантажних операцій, годин.

У цій роботі також розглянуто вплив часових вікон виконання кожного замовлення на їх сумісність. Тут під часовим вікном розуміємо часовий допуск $[t_{e.b.i}, t_{l.e.i}]$, де $t_{e.b.i}$, $t_{l.e.i}$ – найбільш вірогідні, відповідно, ранній початок і пізнє завершення виконання $i$-го замовлення. Якщо для послідовності двох замовлень $i \rightarrow j$

$$t_{e.b.j} < t_{l.e.i} \ \& \ t_{l.e.j} \leq t_{e.b.i}, \quad (2)$$

то такі замовлення у вказаній послідовності вважаються повністю несумісними, для них коефіцієнт $R_c$=0, а вказана послідовність виключається з розгляду.

Якщо для цієї ж послідовності $i \rightarrow j$ маємо:

$$t_{e.b.i} \leq t_{e.b.j} \leq t_{l.e.i} \ \& \ t_{l.e.j} \geq t_{l.e.i}, \quad (3)$$

то такі замовлення вважаються частково сумісними. Коефіцієнт сумісності для цих замовлень за часовими вікнами визначається за виразом:

$$R_c = \frac{1}{t_{e.b.j} - t_{l.e.i}}, t_{l.e.i} > t_{e.b.j}, \quad (4)$$

де часові рамки виконання замовлень вимірюються цілими одиницями часу.

Якщо коефіцієнти сумісності $R_c$ для однієї і тієї ж пари замовлень, обчислені за виразами (1) і (4), є різними, то для подальших операцій кластеризації вибирають менше значення.

Для того, щоб визначити найбільш сприятливі умови об'єднання замовлень в кластери, імітаційне моделювання проводилось при змінних вхідних даних. Змінними були такі величини: максимальна площа території обслуговування; кількість населених пунктів на заданій території; кількість замовлень на горизонті планування; коефіцієнт кривизни доріг.

Кожне поєднання даних дає результуючу множину графів з різною кількістю зв'язків, та ізольованих вершин. Якщо коефіцієнт $R_c$ буде мати надто низьке значення, тобто $R_c \rightarrow 0$, то багато несуттєвих зв'язків в графі $G(Q,V,U)$ не будуть відкинуті. Граф буде сильно зв'язаним. Кластеризація фактично не відбудеться, а між вершинами графа буде велика кількість ребер $V$. Це означає, що результуючий граф мало підходить для пошуку швидкого і гарантованого оптимального рішення розкладу роботи водіїв.

Якщо числове значення коефіцієнта $R_c$ є надто великим, тобто $R_c \rightarrow 1.0$, то переважна

більшість зв'язків у графі $G(Q,V,U)$ не збережеться. Пошук оптимального розкладу в таких початкових даних буде задачею тривіальною, оскільки розкладом буде набір моментів початку виконання практично усіх замовлень: $t_{i.s}=0$, для $i=1..Z$. У зв'язку з цим бажане значення $R_c$ було нами обґрунтовано після проведеного аналізу усіх попередньо отриманих даних, які кластеризовано при усіх можливих $0 \le R_c \le 1$.

Застосування показника сумісності замовлень на вантажні перевезення є виправдано при плануванні розкладів бригади водіїв. Завдяки застосуванню такого критерію частина апріорно нераціональних шляхів пошуку оптимального розв'язку відкидаються. Організаційно-технологічна сумісність дає змогу розбити загальний обсяг великих даних на кластери такі, що пошук оптимального розкладу в отриманих під-графах дає гарантований результат. Кількість вершин в таких підграфах виводить задачу з категорії NP-складних, з одного боку, а також забезпечує достатнє поле змінних для оптимізації результуючого розкладу.

**Список використаних джерел**

1. Redmer A., Kisielewski P., Obłaza J. Optimal driver scheduling with evolutionary approach in urban public transport. Archives of Transport. 2025. Issue. 74(2). P. 65-81. https://doi.org/10.61089/aot2025.919ryp91

2. Lim C. H., Moon S. K. A two-phase iterative mathematical programming-based heuristic for a flexible job shop scheduling problem with transportation. Applied Sciences. 2023. Issue. 13(8), P. 5215. https://doi.org/10.3390/app13085215

3. Benus J., Demirci E. Regulation (EC) No 561/2006-review of the adopted changes on 15 July 2020. Archiwum Motoryzacji. 2020. Issue. 90(4), P. 59-73. https://doi.org/10.61089/aot2025.919ryp91

4. Wang B., Han Y., Wang S., et. al. A review of intelligent connected vehicle cooperative driving development. Mathematics. 2022. Issue. 10(19), P. 3635. https://doi.org/10.3390/math10193635

5. Khomyn N., Oliskevych M., Taran I., Muratbekova G. Algorithm for scheduling drivers on intercity road routes: case study of the shift method. Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk. 2025. Vol. 4, P. 185-194. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.107

***Оліскевич Мирослав Стефанович*** – докт. техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів і тракторів Львівськоо національного університету ветеринарної медицини ім. С.З. Гжицького (80381, м. Львів, вул. В. Великого, 1, к. 29П. e-mail: oliskevychm@gmail.com).

***Хомин Назар Ярославович*** – аспірант Національного транспортного технічного університету (02000, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 7, e-mail: nazar.khomyn0037@gmail.com).

***Myroslav Oliskevych*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Tractors of the S.Z. Gzhytsky L'viv National University of Veterinary Medicine (80381, L'viv, V. Velykoho St., 1, room 29P. e-mail: oliskevychm@gmail.com).

***Nazar Khomyn*** – Postgraduate Student of the National Transport Technical University (02000, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko St., 7, e-mail: nazar.khomyn0037@gmail.com).

УДК 656.052.8

**Осташевський С.А.**

# ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЕМ

*В статті представлено один з можливих напрямків моделювання системи «водій – автомобіль – дорога» та її елементів на основі ергономічних підходів вивчення поведінки та структури діяльності оператора системи «машина-людина». Такий підхід може бути в нагоді для формування системності досліджень керованості автотранспортних засобів та дозволяє отримати багатосторонню уяву про цю властивість, що тим самим відкриває широкі можливості для її вивчення та вдосконалення.*

***Ключові слова:*** *математична модель, ентропія упорядкованості, інформація, керованість автомобіля, модель водія*

*The article presents one of the possible directions for modeling the "driver-car-road" system and its elements based on ergonomic approaches to studying the behavior and structure of the "machine-human" system operator. Such an approach can be useful for forming a systematic approach to researching the controllability of motor vehicles and allows for a multifaceted understanding of this property, thereby opening up broad opportunities for its study and improvement.*

***Keywords:*** *mathematical model, entropy of order, information, vehicle controllability, driver model*

Перш ніж проектувати систему керування автомобілем, слід чітко знати, що представляють собою керування та керованість автомобіля. В техніці, у тому числі автомобільній [1-3], немає поки що загальноприйнятого поняття «керованість машини (автомобіля)», хоч й існують різні, у тому числі стандартизовані визначення. Прийнято розглядати керованість автомобіля в системі «автомобіль-водій-дорога» (А-В-Д) [4]. Оскільки водій несе відповідальність за керування автотранспортним засобом (АТС), слід визначати керованість автомобіля відносно водія. В практиці використання АТС встановилось поняття керованості як зручності керування. Це поняття керованості іноді пов'язують з величиною психофізіологічних витрат та енерговитрат $A_B$ водія на керування машиною, які суб'єктивно відчуваються як добра, задовільна, погана керованості. Під це визначення розробляють поки що досить наближені критерії, які характеризують цю властивість автомобіля.

З точки зору теорії інформації, а це в достатній мірі прийнятний підхід до керованості машини, керування автомобілем складається з операцій виявлення інформації, яка складає «входи» в систему А-В-Д (рис. 1), переробки в дії водія на органи керування (декодування та кодування інформації від людини до машини), потім сприйняття «виходів» через зворотній зв'язок, визначення величини розбіжності $\varepsilon$ показників керування та руху та знову корегування «входів» в систему в прямій гілці контуру А-В-Д.

Керування любим об'єктом керування, у тому числі автомобілем, представляє собою процес цілеспрямованого впливу на нього для забезпечення необхідної зміни стану. Будь яка побудова об'єкту керування характеризується за вибраною ознакою певною неупорядкованістю, яку водій (оператор) сприймає як незручність (дискомфорт) керування. Об'єкт керування може знаходитись в $n>1$ числі рівноймовірних станів; в дійсности, при доброму керуванні - в $(n-1)$ числі станів. Мірою неупорядкованості стану системи служить ентропія упорядкованості – інформація $J$. Будь який процес керування вносить в об'єкт керування упорядкованість та підвищує зручність керування. Якщо система керування отримала інформацію, це означає, що на її організацію наклали деякі зв'язки, закріпили деякі стани [5].

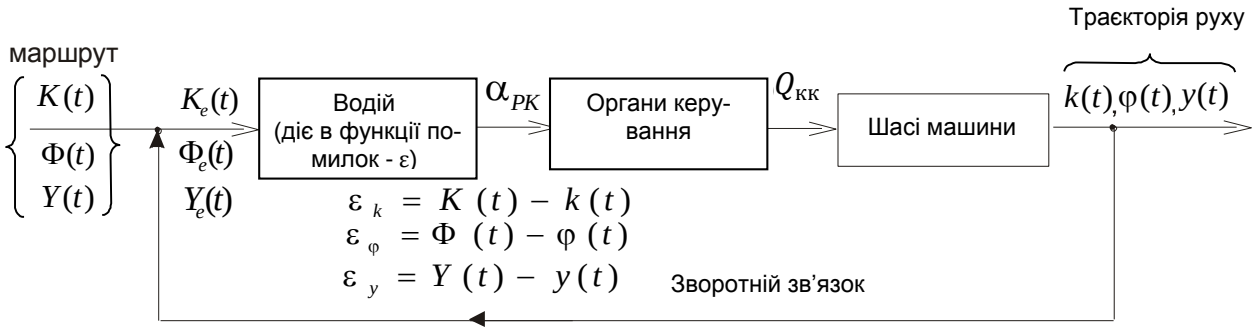



Рисунок 1 – Модель водія в якості «сервомеханізму»:
$K(t)$ – кривизна маршруту; $k(t)$ – траєкторія руху; $\Phi(t)$ – курсовий кут маршруту; $\varphi(t)$ – реалізований курсовий кут руху; $Y(t)$ – допустиме бокове зміщення; $y(t)$ – реалізоване бокове зміщення; $\varepsilon_k$, $\varepsilon_e$, $\varepsilon_y$ - величини розбіжності показників керування та руху по кривизні маршруту, курсовому куту руху, боковому зміщенню відповідно; $\alpha_{РК}$ - кут повороту рульового колеса; $Q_{кк}$ – кут повороту керованих коліс.

Таким чином, з приростом знань про об'єкт керування уявлення водія про автомобіль стають більш упорядкованими. Тобто, для проектування системи керування машиною слід вирішувати питання кількісного та якісного виразу співвідношення між необхідною упорядкованістю та допустимою неупорядкованістю знань водія про об'єкт керування. Також, слід вирішувати питання про найбільш цінну інформацію для системи «водій-автомобіль» в оточуючому просторі (в тому числі і на дорозі), в системі керування автомобілем (кути повороту органів керування, зусилля, що прикладаються, тактильні зусилля), яку інформацію та скільки повинні надати автомобіль та його система керування.

Результат ідеально правильних керованих дій водія $W_0$ за одиницю часу пов'язаний з кількістю переопрацьованої інформації $J_0$ прямою залежністю:

$$W_0 = c_0 J_0, \tag{1}$$

де $c_0$ - коефіцієнт пропорційності.

Результат реальних дій водія можна виразити як:

$$W = W_0 / K_н, \tag{2}$$

де $K_н$ – коефіцієнт, який характеризує правильність виконавчих дій водія по відношенню до його граничних можливостей, так що $0 < K_н < 1{,}0$.

З урахуванням енергії $A_0$, що отримується в системі керування від стороннього джерела (сервопристрою, підсилювача) з $\eta_н$ - ККД приводу, можна знайти вихідну величину керованих дій водія:

$$W_0 = c\eta_н A_н, \tag{3}$$

де $A_н$ - енерговитрати водія,

$c$ - коефіцієнт пропорційності,

Таким чином:

$$W_0 = c(A_н\eta_н + A_0); \quad W = ck_u(A_н\eta_н + A_0), \tag{4}$$

$$\eta = c\kappa_н(\eta_н A_н + A_0)/(A_y + A_н) = W_0 k_н/(A_y + A_н) = cA_0\kappa_н/(A_y + A_н), \tag{5}$$

де $A_н$, - енерговитрати системи керування машини.

Як видно, продуктивність водія в системі А-В-Д пропорційна граничним можливостям $W_0$ машини та відношенню $A_0/A_y$ - ступеня використання при керуванні енергії стороннього джерела $A_0$ до енерговитрат $A_y$ на керування автотранспортним засобом.

Пропонована модель показує, що оптимізація системи керування автотранспортним засобом полягає в підвищенні його енергоозброєності $A_0$, (що сьогодні не складає великих проблем) та оптимізації енерговитрат $(A_y + A_u)$ на формування $(A_y)$ та виконання $(A_u)$ керівних дій водія.

**Список використаних джерел**

1. Сахно В.П. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 3. Маневреність. Керованість. Стійкість / Сахно В.П., Поляков В.М., Костенко А.В., Сакно О.П. та інш. // Навчальний посібник. – Донецк: ЛОНДОН-ХХІ, 2015. – 400 с. ISBN 978-617-579-924-6 (Ч.3 з грифом МОН).
2. Осташевський С.А. Визначення понять «керованість автомобілів» та «водіння машин» в системі «водій-автомобіль-дорога» / С.А. Осташевський // Вісник Харк. автодорожн. ун-ту «ХНАДУ» : збірник наукових праць. – 2013. - № 61-62. – С. 300-305.
3. Вікович І.А. Теорія руху транспортних засобів : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. 672 с.
4. Системологія на транспорті: Підручник: У 5кн. / За заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2008. – Кн. V: Ергономіка / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін.. – 256 с. – Бібліогр.: С. 242-253. – ISBN 978-966-316-215-7
5. Брусенцов В.Г., Брусенцов О.В., Бугайченко І.І., Кисельова С.О. Основи ергономіки: Навч. посібник. – Харків : УкрДАЗТ, 2011. — 141 с.

***Осташевський Сергій Анатолійович*** – докт. техн. наук, доцент, доцент кафедри філософії, соціально-гуманітарних наук та фізичного виховання Хмельницького університету управління та права ім. Л. Юзькова (вулиця Героїв Майдану, 8, Хмельницький, Хмельницька область, 29000, e-mail: s_ostashevskyi@univer.km.ua)

***Serhii Ostashevskyi*** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of philosophy, social sciences, humanities, and Physical Education, Khmelnytskyi University of Management and Law named after L. Yuzkov (Heroiv Maidanu Street, 8, Khmelnytskyi, Khmelnytskyi Region, 29000, e-mail: s_ostashevskyi@univer.km.ua)

УДК 656.61:004.7

**Павленко В.М., Павленко В.М.**

# ВПЛИВ V2X-ВЗАЄМОДІЇ НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ ДОРІГ У СИСТЕМІ SMART CITY

*Проаналізовано сучасні протоколи взаємодії транспортних засобів з елементами дорожньої інфраструктури, запропоновано методологію оцінки впливу V2X-технологій на пропускну спроможність дорожньої мережі. Встановлено, що впровадження кооперативних систем керування рухом на базі DSRC та C-V2X протоколів дозволяє підвищити пропускну спроможність міських магістралей на 25-35% та зменшити час затримок у чергах на 40-50%.*

***Ключові слова:*** *Smart City, V2X комунікації, інтелектуальні транспортні системи, пропускна спроможність, інтернет речей, 5G мережі, автономні транспортні засоби.*

*Modern protocols for vehicle-to-infrastructure interaction are analyzed, and a methodology for assessing the impact of V2X technologies on road network capacity is proposed. It is established that the implementation of cooperative traffic control systems based on DSRC and C-V2X protocols allows for an increase in urban highway capacity by 25-35% and a reduction in queue delays by 40-50%.*

***Key words:*** *Smart City, V2X communications, intelligent transport systems, throughput capacity, Internet of Things, 5G networks, autonomous vehicles.*

Стрімке зростання міських агломерацій та збільшення кількості транспортних засобів створюють значні виклики для ефективного функціонування дорожньої інфраструктури. За даними Світового банку, втрати від транспортних заторів у великих містах становлять 2-5% ВВП країн, а час простою в дорожніх чергах щорічно збільшується на 8-12% [1]. Традиційні підходи до регулювання дорожнього руху, базовані на статичних світлофорах та дорожніх знаках, виявляються недостатньо ефективними в умовах динамічно змінюваних транспортних потоків.

Концепція Smart City передбачає створення інтелектуальної екосистеми, де транспортні засоби, інфраструктура та пасажири взаємодіють у режимі реального часу. Технології V2X (Vehicle-to-Everything) стають ключовим елементом цієї екосистеми, забезпечуючи бідирекційний обмін даними між усіма учасниками дорожнього руху. Протоколи DSRC (Dedicated Short Range Communications) та C-V2X (Cellular V2X) відкривають нові можливості для кооперативного керування транспортними потоками та підвищення пропускної спроможності дорожньої мережі без значних капіталовкладень у розширення інфраструктури [2].

Дослідження зосереджено на аналізі архітектури V2X-комунікацій та їхнього впливу на ефективність функціонування міської транспортної системи. Порівняльний аналіз протоколів V2X наведено в таблиці 1.

Основні компоненти V2X-екосистеми включають: V2V (Vehicle-to-Vehicle) – взаємодія між транспортними засобами; V2I (Vehicle-to-Infrastructure) – комунікація з дорожньою інфраструктурою; V2P (Vehicle-to-Pedestrian) – взаємодія з пішоходами; V2N (Vehicle-to-Network) – підключення до хмарних сервісів.

Проведено моделювання транспортних потоків на типовому міському перехресті з інтенсивністю руху 1200-1800 автомобілів на годину. Результати дослідження демонструють суттєве покращення показників пропускної спроможності при впровадженні V2X-технологій [3], що відображено в таблиці 2.

Ключовим механізмом підвищення пропускної спроможності є кооперативна адаптивна система керування світлофорами (C-ACS), яка отримує дані про положення та швидкість транспортних засобів у режимі реального часу. Алгоритм оптимізації визначає оптимальні

фази світлофорного циклу з урахуванням актуального транспортного попиту, що дозволяє скоротити середній час очікування на 42% та збільшити кількість транспортних засобів, що проїжджають перехрестя за один цикл, на 28%.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз протоколів V2X

| Параметр | DSRC | C-V2X | 5G-V2X | Wi-Fi 6 |
|---|---|---|---|---|
| Дальність, м | 300-1000 | 450-1500 | 1000+ | 100-300 |
| Затримка, мс | 10-50 | 15-100 | 1-10 | 5-20 |
| Пропускна здатність | 3-27 Мбіт/с | 50-100 Мбіт/с | 1-10 Гбіт/с | 1-10 Гбіт/с |
| Ліцензування | Ліцензоване | Ліцензоване | Ліцензоване | Неліцензоване |

Таблиця 2 – Показники ефективності V2X-системи

| Показник | Без V2X | З V2X |
|---|---|---|
| Пропускна спроможність, авт/год | 1200 | 1620 |
| Середній час очікування, с | 45 | 26 |
| Довжина черги, м | 180 | 95 |
| Кількість зупинок | 2.8 | 1.4 |
| Викиди CO2, г/км | 145 | 98 |

Технічна реалізація V2X-інфраструктури передбачає розгортання дорожніх обчислювальних модулів (RSU – Roadside Units) на ключових ділянках транспортної мережі. Кожен RSU забезпечує покриття радіусом 300-1000 метрів та підтримує одночасну комунікацію з до 200 транспортними засобами. Інтеграція RSU з існуючими системами керування світлофорами здійснюється через стандартизовані API-інтерфейси, що мінімізує вартість та терміни впровадження [3]. Архітектура V2X-комунікацій наведено на рис. 1.

Економічна ефективність впровадження V2X-технологій обґрунтована через аналіз загальних витрат власності (TCO). Розрахунки показують, що окупність інвестицій в V2X-інфраструктуру для типового мегаполісу становить 3-4 роки за рахунок зменшення витрат палива, скорочення викидів забруднюючих речовин та підвищення продуктивності праці учасників дорожнього руху. Додатковим джерелом економії є зниження частоти дорожньо-транспортних пригод на 15-20%.

Перспективи впровадження V2X-технологій в Україні пов’язані з модернізацією міських транспортних систем та підготовкою інфраструктури для автономного транспорту. Державна цільова програма розвитку автомобільних доріг передбачає пілотні проєкти з впровадження інтелектуальних транспортних систем у Києві, Харкові, Одесі та Дніпрі. Співпраця з європейськими партнерами в рамках програми Horizon Europe сприяє адаптації міжнародних стандартів V2X до національних умов.

Особливу увагу приділено питанням кібербезпеки та надійності V2X-комунікацій. Запропоновано багаторівневу модель захисту даних, що включає автентифікацію пристроїв, шифрування каналів передачі та механізми виявлення аномалій. Доведено, що при дотриманні рекомендованих протоколів безпеки рівень ризику несанкціонованого доступу до транспортної мережі не перевищує 0,001%.

Впровадження V2X-технологій є ефективним інструментом підвищення пропускної спроможності міської дорожньої мережі без значних капіталовкладень у фізичну інфраструктуру. Дослідження підтверджує можливість збільшення пропускної здатності перехресть на 25-35% та зменшення транспортних затримок на 40-50%. Протокол C-V2X демонструє переваги над DSRC у контексті масштабованості та інтеграції з існуючими мобільними мережами 4G/5G, що робить його перспективним для широкомасштабного впровадження в Smart City.

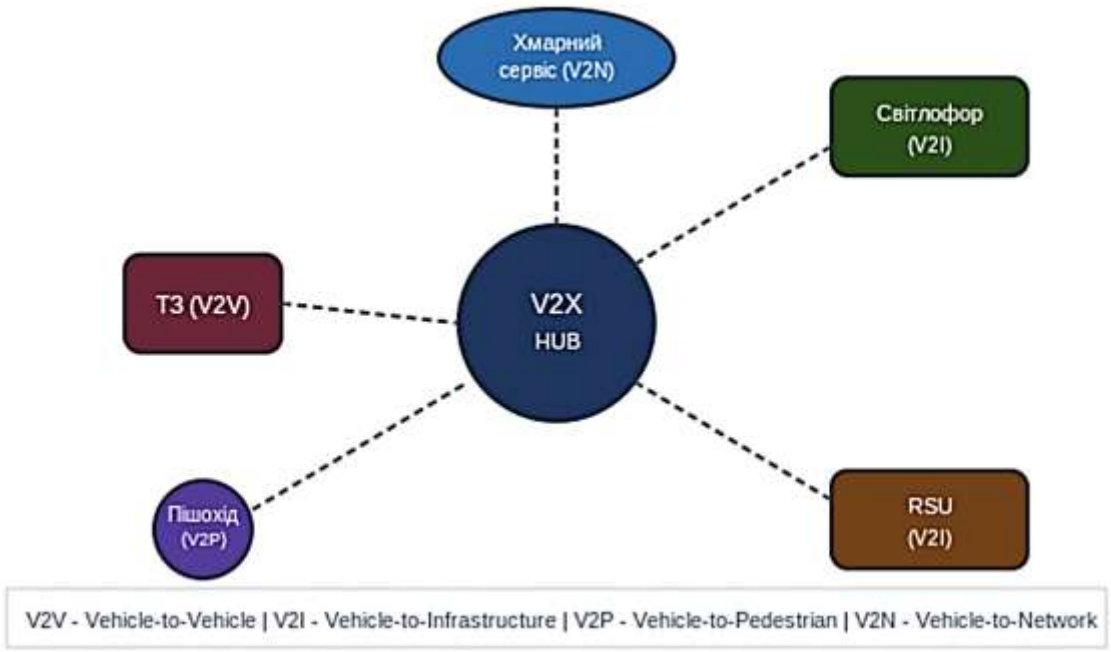



Рисунок 1 – Архітектура V2X-комунікацій в екосистемі Smart City

Кооперативні системи керування рухом на базі V2X-комунікацій забезпечують адаптивність до динамічних змін транспортного попиту та створюють передумови для інтеграції автономних транспортних засобів в міську інфраструктуру. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку алгоритмів машинного навчання для прогнозування транспортних потоків на основі V2X-даних та оптимізації маршрутів в масштабах міста.

**Список використаних джерел**

1. Kenney, J. B. Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States // Proceedings of the IEEE. – 2011. – Vol. 99, No. 7. – P. 1162–1182. – DOI: 10.1109/JPROC.2011.2132790.

2. 3GPP. Study on LTE-based V2X Services. – Technical Report 36.885, 3rd Generation Partnership Project, 2016. – 94 p.

3. Zheng, K. et al. Edge Intelligence and V2X Communications: Architecture, Use Cases and Research Issues // IEEE Wireless Communications. – 2020. – Vol. 27, No. 3. – P. 184–191. – DOI: 10.1109/MWC.001.1900425.

***Павленко Віталій Миколайович*** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри композиційних конструкцій і авіаційного матеріалознавства Національного аерокосмічного університету "Харківський авіаційний інститут"

***Павленко В'ячеслав Миколайович*** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту, Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

***Pavlenko Vitaliy*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Composite structures and aviation materials, National aerospace university "Kharkiv aviation institute"

***Pavlenko Vyacheslav*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of department of Engineering of Automobile Transport Systems, Kharkiv National Automobile and Highway University

УДК 656.073

**Павленко О.В., Рижиков М.В., Барміна Д.В.**

# МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ВАРІАНТУ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ СКЛАДУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЗАСОБІВ НАВАНТАЖЕННЯ-РОЗВАНТАЖЕННЯ

*Запропоновано розглядати варіанти технології роботи складу в залежності від засобів навантаження та розвантаження. Розроблена математична модель визначення оціночного показника – площа складу, на яку впливають параметри складської технології.*
***Ключові слова:*** *складська логістика, технологія, площа, модель.*

*It is proposed to consider options for warehouse operation technology depending on the means of loading and unloading. A mathematical model for determining the evaluation indicator - warehouse area, which is influenced by the parameters of warehouse technology, has been developed.*
***Key words:*** *warehouse logistics, technology, area, model.*

Розвиток виробничих систем пов’язаний із впровадженням нових процедур і технологічних рішень, без яких стабільне функціонування підприємства може бути порушене. Для забезпечення безперервної діяльності необхідне регулярне постачання різноманітних матеріальних ресурсів, що зумовлює важливість складів як одного з основних елементів логістичної інфраструктури. Такі процеси передбачають переміщення матеріалів між географічно розташованими виробничими ділянками, робочими зонами та складськими приміщеннями, які об’єднані в єдиний виробничо-логістичний ланцюг [1].

Дослідження у сфері складської логістики переважно зосереджені на теоретичних питаннях і лише частково пропонують комплексні підходи до системного вдосконалення складських процесів. Найбільшу увагу науковці приділяють оптимізації процесів комплектування замовлень, особливо на розподільчих складах. У роботі [1] представлено інтегрований підхід до аналізу та оптимізації складських операцій із застосуванням інструментів ощадливого виробництва. Запропонована методика продемонстрована на прикладі проєктування складських площ і підвищення ефективності використання складського обладнання, зокрема засобів для навантаження та розвантаження. Таким чином, підвищення ефективності використання механізованих засобів потребує впровадження інноваційних технологій, що ґрунтуються на нових технічних і організаційних рішеннях.

Серед актуальних викликів у функціонуванні складських систем, як основних елементів транспортного процесу, можна виділити кілька ключових проблем: раціональне використання складських ресурсів [2], комплексна оптимізація процесів у багаторівневих складських структурах [3], формування ефективної логістичної системи управління матеріальними потоками [4], а також забезпечення стабільного функціонування в кризових ситуаціях [5, 6].

У наукових роботах, присвячених удосконаленню технологічних процесів функціонування складів і терміналів, основна увага приділяється забезпеченню ефективної взаємодії між усіма етапами складських операцій з урахуванням впливу випадкових факторів. Аналіз технологічної організації роботи складів, що функціонують на логістичному ринку, виявив низку організаційних недоліків. Зокрема, недостатньо враховуються альтернативні варіанти виконання ключових операцій у разі зміни параметрів технологічного процесу, спостерігається нераціональне використання складських ресурсів, а також обмежене застосування сучасних технічних засобів для виконання навантажувально-розвантажувальних робіт. У зв’язку з цим для підвищення ефективності організації всього комплексу складських процесів, зростання продуктивності та зниження вартості доставки товарів в умовах значних вантажопотоків необхідним є впровадження сучасних складських технологій із використанням високоманевре-них технічних засобів.

В дослідженні пропонується порівняти два варіанти організації технології роботи складу за участю засобу для здійснення навантаження-розвантаження та переміщення вантажу: 1 варіант – стандартний механізм – електронавантажувач (ЕН), 2 варіант – високоманеврений навантажувач, технічні характеристики якого представлені в [7].

Для аналізу будемо розглянути типовий складський об'єкт, де стелажі, проходи та проїзди встановлені відповідно до існуючих стандартів (рис. 1). На такому об'єкті можуть працювати як стандартні навантажувачі в нашому випадку це електронавантажувачі – ЕН з аналогічними характеристиками вантажопідйомності та габаритів, як і запропоновані в [7] засоби – високоманеврені транспортні механізми.

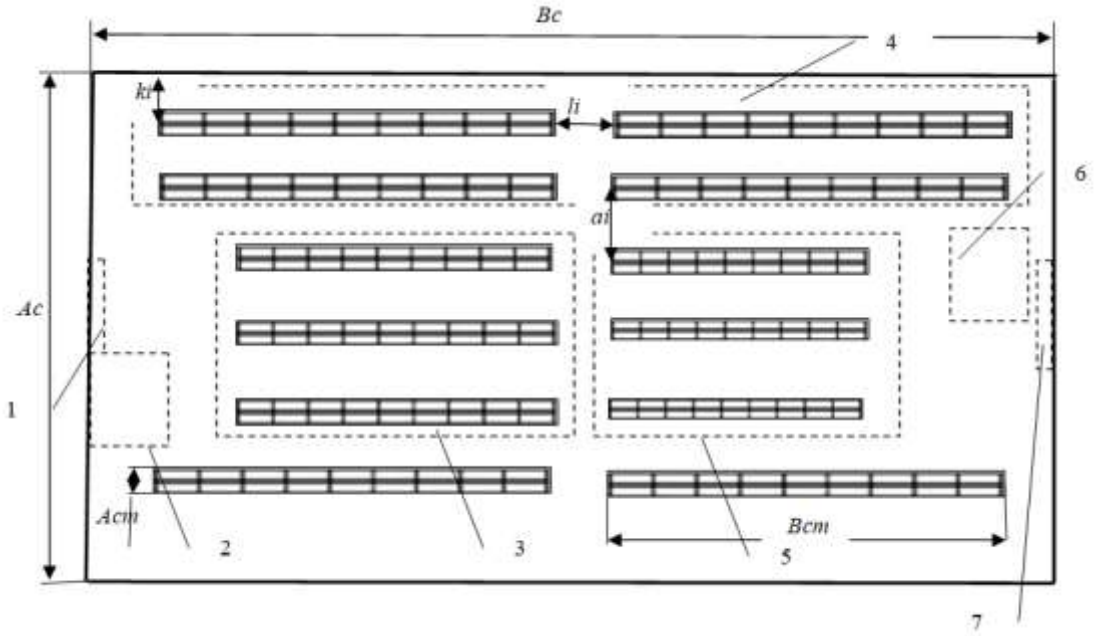



Рисунок 1 – Схематичне представлення складу, що розглядається

На рисунку 1 представлені наступні позначення: 1) технічні параметри складу: $B_c$ – довжина складського приміщення, м.; $A_c$ – ширина складського приміщення, м.; $k_i$ – ширина проїзду між стінкою складу та стелажами, відповідного $i$-го розміру, м.; $A_{cm}$ – ширина стелажу для зберігання вантажу, м.; $B_{cm}$ – довжина стелажу для зберігання вантажу, м.; $a_i$ – відстань між проміжними стелажами, відповідного $i$-того розміру, м.; $l_i$ – відстань між стелажами основного проїзду, відповідного $i$-того розміру, м.; 2) зони обслуговування: 1 – зона розвантаження, 2 – зона приймання експедицією, 3 – зона приймання на зберігання, 4 – зона зберігання, 5 – зона комплектування, 6 – зона експедиції відправлення, 7 – зона завантаження визначеної партії вантажу на транспортні засоби.

Для визначення ефективного варіанту технології роботи складу при використанні спеціалізованих засобів навантаження-розвантаження пропонується оціночний параметр – площа складу:

$$S_{скл} = \{S_1, S_2, ..., S_n\}, \forall n = \{1;7\}, \quad (1)$$

де $S_1, S_2, ..., S_n$ – відповідні площі встановлених зон, м$^2$;

$n$ – номер зони складу.

В якості технологічних параметрів в дослідженні пропонується розглядати: обсяг вантажу, який обслуговується на складі ($Q_{скл}$), т; середнє значення тривалості зберігання відповідних запасів вантажу на території складу, год., ($Д_{збр}$); коефіцієнт нерівномірності завантаження площі складу ($k_{нер}$); навантаження одиниці вантажу на встановлену площу складу ($H_{скл}$), т/м$^2$.

Пропонується математична модель визначення площі складу, в якій враховуються встановлені зони обслуговування вантажу, а також технологічні параметри:

$$S_{скл} = \frac{\frac{Q_{скл} \cdot k_{пнр} \cdot T^{Д}_{скл} \cdot Д_р \cdot Д_{збр} \cdot k_{нер}}{T_ц + T_{до}}}{Д_р \cdot k_{вс} \cdot H_{скл}} + \frac{A_c \cdot B_c \cdot Q_{скл} \cdot T^{Д}_{скл}}{Q_{сд} \cdot T_ц + T_{до}} +$$
$$+ \frac{\frac{Q_{скл} \cdot k_{пнр} \cdot T^{Д}_{скл} \cdot Д_р \cdot k_{нер} \cdot s_{пр} \cdot T_{пр}}{T_ц + T_{до}}}{D_р \cdot H_{скл}} + \frac{\frac{Q_{скл} \cdot k_{пнр} \cdot T^{Д}_{скл} \cdot Д_р \cdot k_{нер} \cdot s_к \cdot t_к}{T_ц + T_{до}}}{D_р \cdot H_{скл}} + \quad (2)$$
$$+ N_{кр} \cdot S_{нп} + \frac{\frac{Q_{скл} \cdot k_{пнр} \cdot T^{Д}_{скл} \cdot Д_р \cdot k_{нер} \cdot s_{пре} \cdot t_{пре}}{T_ц + T_{до}}}{D_р \cdot H_{скл}} + \frac{\frac{Q_{скл} \cdot k_{пнр} \cdot T^{Д}_{скл} \cdot Д_р \cdot k_{нер} \cdot s_{ев} \cdot t_{ев}}{T_ц + T_{до}}}{D_р \cdot H_{скл}},$$

де $k_{пнр}$ – коефіцієнт використання продуктивності засобів навантаження-розвантаження;

$T^{Д}_{скл}$ – час роботи обладнання складу на протязі доби, год.;

$k_{вс}$ – коефіцієнт використання всього об'єму складу (корисного);

$T_ц$ – час циклу роботи засобів механізації виконання навантаження-розвантаження, год.;

$T_{до}$ – час виконання необхідних додаткових операцій на складі, год.;

$Q_{сд}$ – середньодобовий обсяг вантажу, який зберігається на складі, т.;

$s_{пр}$ – частка визначеної кількості вантажів, яка проходить через зону приймання складу, од.;

$T_{пр}$ – час знаходження визначеної кількості вантажів в зоні приймання складу, год.;

$s_к$ – частка визначеної кількості вантажів, яка перероблялася в зоні комплектування, од.;

$t_к$ – час знаходження визначеної кількості вантажів в зоні комплектування, год.;

$N_{кр}$ – кількість задіяних робітників, які працюють в зонах складу, роб.;

$S_{нп}$ – нормативна площа зон складу, яка відведена для обладнання визначених місць працівників складу, роб./м$^2$;

$s_{пре}$ – частка визначених вантажів, яка проходить через зону приймальної експедиції, од.;

$t_{пре}$ – час знаходження вантажу в експедиції приймання, год.;

$s_{ев}$ – частка визначених вантажів, яка проходить через зону експедиції відправлення, од.;

$t_{ев}$ – час знаходження визначеного вантажу в зоні експедиції відправлення, год.

Час циклу роботи засобів механізації виконання навантаження-розвантаження:

$$T_ц = (T_р + T_н + T_{тр}) \cdot \varphi_{сум}, \quad (3)$$

де $T_р$ – час на виконання розвантажувальних операцій з вантажем на складі, год.;

$T_н$ – час на виконання навантажувальних операцій з вантажем на складі, год.;

$T_{тр}$ – час на виконання операцій по переміщенню вантажу відповідним навантажувачем по складу, год.;

$\varphi_{сум}$ – коефіцієнт суміщення визначених операцій на протязі всього робочого циклу.

Запропоновано порівняти два варіанта організації технології роботи складу за участю механізму для здійснення навантаження-розвантаження та переміщення вантажу: перший варіант – стандартний механізм – електронавантажувач, а другий варіант – високоманеврений навантажувач, технічні характеристики якого дозволяють зменшити площу для маневрування. Розроблені математична модель визначення оціночного показника – площа складу, на яку

впливають параметри: обсяг вантажу, який обслуговується на складі, середнє значення тривалості зберігання відповідних запасів вантажу на території складу, коефіцієнт нерівномірності завантаження площі складу, навантаження одиниці вантажу на встановлену площу складу.

**Список використаних джерел**

1. Đurđević D., Manasijević S., Miljuš M. Rationalization of a Core Warehouse in the Casting Plant: A Case Study. *Transactions of FAMENA*. 2020. Vol. 43, № 4. P. 109-121.

2. Alhassow M. M., Ata O., Atilla D. C. Multi-agents path planning for a mobile robot in a dynamic warehouse environment. *In International Conference on Computing, Intelligence and Data Analytics*. 2022. P. 520-534.

3. Таран І., Литвин В., Клименко І. Оптимізація функціонування складського комплексу з фронтальними стелажами у середовищі ANYLOGIC. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2023. Вип. 20 (1). С. 260-271.

4 Orda O., Nagornyy Y., Potaman N. Approach to the forming of rational technology for the export cargoes delivery in supply chain on the principles of co-modality. *ETR*. 2024. Vol. 3. P. 194-199.

5. Павленко О.В., Рижиков М.В. Визначення умов ефективного використання ресурсів у процесі функціонування складської системи. *Вісник ХНАДУ*. 2024. Вип. 107. С. 140–147.

6. Muzylyov D. Medvediev I. Pavlenko O. Risk factor assessment in agricultural supply chain by fuzzy logic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1376, №1. P. 012038.

7. Павленко О. В., Калініченко О. П. Методика визначення ефективного варіанта технології роботи складу при використанні високоманеврених та енергоефективних багатовісних автомобілів. *Комунальне господарство міст*. 2023. Вип. 180 (6), С. 244–249.

***Павленко Олексій Вікторович*** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 409, e-mail: ttpov@ukr.net).

***Рижиков Микола Вадимович*** — аспірант кафедри транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 409, e-mail: sonixiomi@gmail.com).

***Барміна Дар'я В'ячеславівна*** — здобувачка факультету транспортних систем Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 409, e-mail: barminadasha2020@gmail.com).

***Pavlenko Olexiy*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Technologies, Kharkiv National Automobile and Road University (61002, Kharkiv, Yaroslava Mudryho str., 25, room 409, e-mail: ttpov@ukr.net).

***Ryzhykov Mykola*** – Postgraduate Student of the Department of Transport Technologies, Kharkiv National Automobile and Road University (61002, Kharkiv, Yaroslava Mudryho str., 25, room 409, e-mail: sonixiomi@gmail.com).

***Barmina Daria*** – student of the Faculty of Transport Systems of the Kharkiv National Automobile and Road University (61002, Kharkiv, Yaroslava Mudryho str., 25, room 409, e-mail: barminadasha2020@gmail.com).

УДК 629.331:004.9

**Павлюк В.І., Булік Ю.В., Куць Н.Г.**

# МОДЕЛІ ЦИФРОВОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ПІДПРИЄМСТВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

*Розглянуто теоретико-методичні засади формування моделей цифрового представлення об'єктів виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту в умовах цифрової трансформації. Представлено основні підходи до реалізації цифрових репрезентацій і їх ієрархічну взаємодію. Запропоновано приклад моделювання канавного домкрата як елемента формування цифрового представлення технологічного підйомно-оглядового обладнання виробничої дільниці.*

***Ключові слова:*** *цифрове представлення, об'єкти виробничо-технічної бази, цифрова модель, цифрова тінь, цифровий двійник, автомобільний транспорт.*

*The theoretical and methodological foundations for the formation of digital representation models of objects of the production and technical base of road transport enterprises under conditions of digital transformation are considered. The main approaches to the implementation of digital representations and their hierarchical interaction are presented. A case study of modeling an inspection rolling bridge jack is proposed as an element for forming a digital representation of technological lifting and inspection equipment of a production unit.*

***Key words:*** *digital representation, production and technical base objects, digital model, digital shadow, digital twin, road transport.*

Цифрова трансформація є важливим чинником розвитку та модернізації виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту, оскільки сприяє підвищенню ефективності діяльності, гнучкості функціонування та конкурентоспроможності підприємств. Вона передбачає інтеграцію технологічного обладнання, виробничих дільниць та інженерної інфраструктури в єдине інформаційне середовище для спостереження за об'єктами, моніторингу їх стану, оптимізації роботи та автоматизації технологічних процесів.

Моделі цифрового представлення об'єктів виробничо-технічної бази відрізняються рівнем інтеграції, зв'язку, комунікації та характером обміну даних з фізичними об'єктами. Основними типами цифрової репрезентації є цифрові моделі (рис. 1*а*), цифрові тіні (рис. 1*б*) та цифрові двійники (рис. 1*в*).

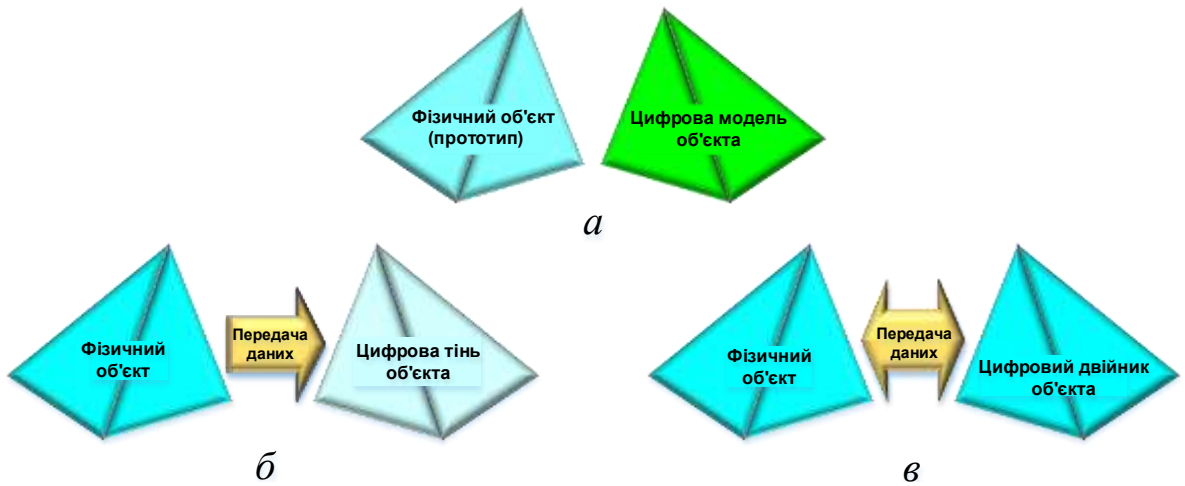



Рисунок 1 – Схеми цифрових представлень об'єкта дослідження: *а* – цифрова модель; *б* – цифрова тінь; *в* – цифровий двійник

Кожен із цих типів має певний ступінь взаємодії з реальним об’єктом виробничо-технічної бази, зокрема технологічним обладнанням або структурним виробничим підрозділом. Цифрове представлення може мати як відносну автономність, що характерно для цифрових моделей, так і потребувати інтеграції із забезпеченням двостороннього синхронізованого обміну даними у режимі реального часу притаманного для цифрових двійників. Комплексне відображення стану об’єктів та їх взаємодії під час технологічних процесів здійснюється завдяки параметричним, функціональним, експлуатаційним складовим моделей, визначаючи їх. Це дає можливість опрацьовувати геометричні параметри (на 3D-моделі), експлуатаційні параметри, характеристики та режими роботи цих об’єктів.

Цифровий двійник включає функціональні можливості цифрової тіні та цифрової моделі, а цифрова тінь – можливості цифрової моделі, що відображає ієрархію рівнів інтеграції цифрових представлень (рис. 2). Ієрархія розширення функціональних можливостей цифрового представлення полягає у отриманні нових властивостей на кожному з подальших вищих рівнів цифрової репрезентації. Так, наприклад, цифрова модель технологічного обладнання є мало динамічним цифровим описом об’єкта (геометрія, матеріали, характеристики тощо) і становить базовий рівень цифрового представлення. У свою чергу, цифрова тінь через односторонній зв'язок об'єкта з її моделлю (геометричною, аналітичною, імітаційною тощо) відображає його стан у режимі реального, або близького до нього, часу. Цифровий двійник має найвищий рівень у даній ієрархії та завдяки реалізації двостороннього зв'язку має можливість ще й впливати на роботу цього технологічного обладнання, коригуючи параметри роботи на основі аналізу, прогнозування та оптимізації процесів. Цифровий двійник є не просто ускладненою моделлю, а інтелектуальною системою, котра базується на даних цифрової моделі, використовує інформацію цифрової тіні та забезпечує комплексне управління об’єктом.

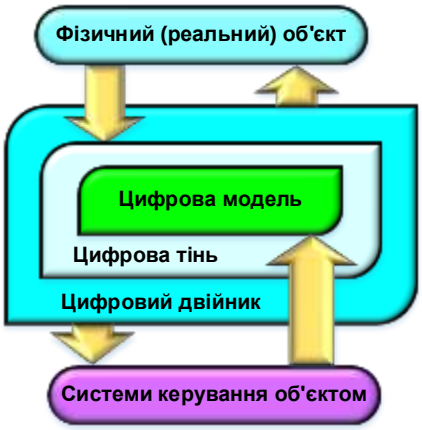



Рисунок 2 – Схема ієрархії та взаємодії цифрових представлень об’єкта з урахуванням рівнів інтеграції

Інформаційне забезпечення таких моделей формується за даними сенсорів фізичного об’єкта, який досліджується, та інформаційних систем. Цифрові моделі створюються методами комп’ютерного та імітаційного моделювання з використанням CAD/CAE та IoT-платформ.

Впровадження цифрових представлень об’єктів ВТБ сприяє оптимізації технологічних і виробничих процесів діагностування, технічного обслуговування і ремонту рухомого складу, зменшенню простоїв, підвищенню надійності й продуктивності роботи. Крім того, створює основу і передумови для впровадження інтелектуальних систем управління та подальшої цифровізації підприємств автомобільного транспорту.

Широке впровадження цифрових представлень стримується недостатнім і низьким рівнем цифровізації окремих підприємств автомобільного транспорту. Часто складність реалізації таких заходів, особливо для малих підприємств, зумовлена високою вартістю програмних продуктів та відсутністю чи нестачею персоналу відповідної кваліфікації.

Отже, цифровізація виробництва з метою модернізації виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту є актуальною і потребує проведення досліджень за цим напрямом.

На нинішньому етапі проводяться дослідження концепцій, методів і методик розробки цифрових моделей і цифрових тіней технологічного обладнання та виробничих дільниць для технічного обслуговування та ремонту автомобілів. У роботі розглянуто моделювання ножичного канавного домкрата з гідравлічним приводом, як елемент підйомно-оглядового обладнання робочого поста виробничої дільниці. Створено 3D-модель домкрата, досліджено та проаналізовано характеристики його роботи. Отримані результати є основою для подальших досліджень щодо розробки цифрових представлень, зокрема і вищого рівня.

**Список використаних джерел**

1. Grieves, Michael. (2023). Digital Model, Digital Shadow, Digital Twin. URL: https://www.researchgate.net/publication/369830792_Digital_Model_Digital_Shadow_Digital_Twin

2. Pankratova, Nataliya & Grishyn, Kostiantyn & Barilko, Viesta. (2023). Digital twins: stages of concept development, areas of use, prospects. System research and information technologies. 7-21. 10.20535/SRIT.2308-8893.2023.2.01.

3. Павлюк В.І., Булік Ю.В., Сітовський О.П. (2024). Проектування технологічного обладнання «низхідним» моделюванням із застосуванням скелетонів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал, 1 (22), С. 279–284. / URL: https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1370

4. Сацюк В., Булік Ю., Малянтович І. Застосування технології «цифровий двійник» для моделювання сонячного теплового колектору. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. – 430 с. – С. 175–187.

5. Булік Ю. В., Павлюк В. І., Онищук В. П., Куць Н. Г. Поліпшення цифрових моделей систем транспортних засобів, обладнаних термоелектричними модулями. 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.). – С. 97–99.

***Павлюк Василь Іванович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцького національного технічного університету, (43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, e-mail: v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua).

***Булік Юрій Володимирович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцького національного технічного університету, (43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, e-mail: yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua).

***Куць Надія Григорівна*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцького національного технічного університету, (43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, e-mail: kuts.nadia86@gmail.com).

***Pavliuk Vasyl*** – candidate of technical sciences, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, Lutsk, Lvivska Street, 75, e-mail: v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua).

***Bulik Yurii*** – candidate of technical sciences, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, Lutsk, Lvivska Street, 75, e-mail: yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua).

***Kuts Nadiia*** – candidate of technical sciences, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, Lutsk, Lvivska Street, 75, e-mail: kuts.nadia86@gmail.com).

УДК 629.365

**Пелех О.Р., Зінько Р.В.**

# ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

*У роботі розглянуто питання експериментального дослідження силових характеристик пружин автомобільної підвіски. Обґрунтовано необхідність практичних випробувань через можливі відхилення реальної жорсткості від теоретичних розрахунків внаслідок зносу, корозії та технологічних особливостей виробництва. Представлено метод діагностики за допомогою спеціалізованого стенда, призначеного для вимірювання параметрів циліндричних, конічних та бочкоподібних пружин.*

*Визначено ключові сфери застосування розробленого методу: від вхідного контролю на виробництві та діагностики на СТО до прецизійного налаштування підвісок спортивних автомобілів. Особливу увагу приділено аналізу геометричних відхилень, перекосів та нелінійної жорсткості пружин зі змінною геометрією. Результати досліджень дозволяють підвищити безпеку експлуатації транспортних засобів, оптимізувати налаштування ходової частини та обґрунтувати гарантійні рішення.*

***Ключові слова:*** *Підвіска автомобіля, гвинтова пружина, жорсткість пружини, діагностичний стенд, силова характеристика, нелінійна деформація, ходова частина, вхідний контроль, технічне обслуговування, тюнінг підвіски.*

*The paper considers the experimental study of the force characteristics of automotive suspension springs. The necessity of practical testing is justified due to possible deviations of actual stiffness from theoretical calculations as a result of wear, corrosion, and technological features of production. A diagnostic method using a specialized stand designed to measure the parameters of cylindrical, conical, and barrel springs is presented.*

*The key areas of application of the developed method are identified: from incoming inspection at the production site and diagnostics at service stations to precision tuning of sports car suspensions. Particular attention is paid to the analysis of geometric deviations, distortions, and nonlinear stiffness of springs with variable geometry. The research results make it possible to improve the safety of vehicle operation, optimize the adjustment of the running gear, and justify warranty decisions.*

***Keywords:*** *Car suspension, coil spring, spring stiffness, diagnostic stand, power characteristic, nonlinear deformation, running gear, incoming inspection, maintenance, suspension tuning.*

Підвіска – це фундамент комфорту та безпеки авто. Її головна деталь, гвинтова пружина, бере на себе всі удари від дороги, тримає кузов на потрібній висоті та гасить коливання. Від того, наскільки точно працює цей елемент, залежить не лише плавність поїздки, а й те, як довго «проживуть» інші частини ходової.

Зазвичай жорсткість пружини вираховують за формулами, спираючись на товщину дроту та кількість витків. Проте на практиці все складніше: заводський брак, втома металу, корозія чи перегрів змінюють реальні властивості деталі. Особливо це відчутно у пружин зі складною формою (наприклад, «бочок» чи конусів), де опір стисненню змінюється нелінійно.

Саме тому важливо не просто вірити розрахункам, а проводити практичні випробування. Це дозволяє побачити, як пружина поводиться під реальним навантаженням, чи повертається вона до початкової форми та наскільки її фактична жорсткість відхиляється від норми в різних режимах роботи.

Для визначення характеристик пружин, зокрема із змінною жорсткістю, розроблено спеціалізований стенд, який дозволяє детально аналізувати стан пружин різної форми – від класичних циліндрів до конусних та бочкоподібних моделей. Пристрій незамінний для легкових авто та мікроавтобусів, адже він не просто вимірює навантаження, а й виявляє приховані

дефекти: втрату пружності, зміну висоти чи небезпечні перекоси, що виникають під тиском.

Розроблений стенд забезпечує:

Контроль якості: перевірка, чи відповідає деталь заводським стандартам.

Інженерні розробки: тестування нових зразків пружин та їхнє вдосконалення «на льоту».

Сервісне обслуговування: швидка діагностика підвіски на СТО, щоб зрозуміти, чи потребує пружина заміни під час ремонту.

Автоспорт та тюнінг: ідеальне налаштування ходової під конкретну трасу чи вагу авто для кращого зчеплення та швидкості.

Перевірка постачальників: вхідний контроль партій товару, щоб відсіяти брак ще до моменту встановлення чи продажу.

Робота з рекламаціями: експертна оцінка дефектів для вирішення гарантійних суперечок.




1 – домкрат, 2 – лінійка, 3 – тензодатчик, 4 – опорна площадка, 5 – пружина

Рисунок 1 – Експериментальне дослідження пружини

Порядок виконання експерименту. Пружина 5 встановлюється на прес і синхронізується з лінійкою 2. За допомогою домкрата 1 усуваються зазори і на тензодатчику 3 виставляється значення «0».

Виконується тестове навантаження до 80-90% від максимального навантаження, визначаються показаи тензодатчика. Пружина розвантажується. Пружина навантажується на 5-10% від максимального навантаження. При цьому усуваються зазори в елементах випробувального стенду для зменшення похибки вимірювання. Потім пружина навантажується з крок переміщення 5 мм на вимірювальній лінійці. При цьому записуються покази динамометра. При кожному навантаженні записуються значення переміщення вказівника і показники динамометра. Навантаження виконують повного стискання пружини, далі знімаються показники до повного розвантаження пружини.

За результатами дослідження встановлено мінімальне та максимальне значення коефіцієнта жорсткості пружини зі змінним діаметром дроту [1-3].

Залежність жорсткості пружини при навантаженні

$$C_p = 106z^2 + 109971z + 18992.$$

Визначимо середньо квадратичну похибку рівняння:

$$S_e = \sqrt{\frac{\Sigma(C_p - \widetilde{C_p})^2}{n-3}} = 1026{,}041 \text{ Н/м}$$

Відносна похибка складе:

$$\varepsilon = \frac{S_e}{\bar{C}_p} \cdot 100\% = 5{,}5\ \%$$

В результаті експерименту отримано максимальне значення коефіцієнту жорсткості $Cp\ mam$ = 26569,8 Н/м.

Реалізована методика забезпечує можливість визначення локальних значень коефіцієнта жорсткості в усьому робочому діапазоні деформацій, а також аналізу процесів навантаження і розвантаження.

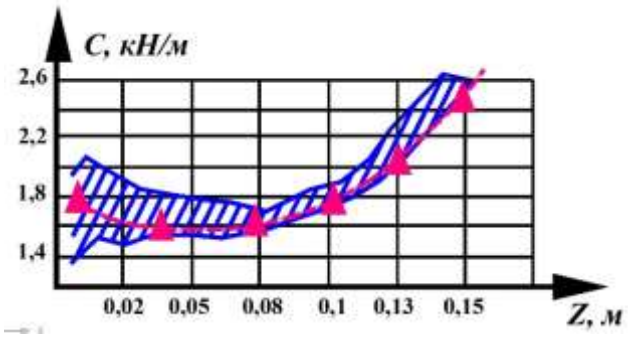



Рисунок 2 – Залежність жорсткості пружини зі змінним діаметром дроту від деформації при навантаженні

Для пружини зі змінним діаметром дроту встановлено суттєво виражений нелінійний характер зміни жорсткості від деформації. Значення коефіцієнта жорсткості змінюється в межах $Cp\ mam$=26569,8 Н/м.

Отримані результати можуть бути використані під час діагностики технічного стану пружин підвіски, оптимізації конструктивних параметрів нових виробів, а також при налаштуванні підвіски транспортних засобів, зокрема в умовах експлуатації, сервісного обслуговування та спортивного застосування.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення впливу циклічних навантажень, температурних факторів та втомних процесів на зміну силових характеристик пружних елементів підвіски.

**Список використаних джерел**

1. ДСТУ 8429:2015. Прокат із ресорно-пружинної вуглецевої та легованої сталі. Технічні умови. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2016.

2. ДСТУ EN 13906-1:2022. Циліндричні спіральні пружини з круглого дроту та прутка. Розрахунок і проєктування. Частина 1. Пружини стискання. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2022.

3. ДСТУ ISO 8458-2:2007. Дріт сталевий для механічних пружин. Частина 2. Київ: Держспоживстандарт України, 2009.

***Пелех Олексій Романович*** – аспірант НУ «Львівська політехніка», e-mail: oleksii.r.pelekh @lpnu.ua НУ «Львівська політехніка», м. Львів

***Зінько Роман Володимирович*** – д-р техн. наук, професор кафедри системи автоматизованого моделювання НУ «Львівська політехніка», e-mail: rzinko@gmail.com м. Львів

***Pelekh Oleksii Romanovych*** – postgraduate student of Lviv Polytechnic National University, e-mail: oleksii.r.pelekh@lpnu.ua Lviv Polytechnic National University, Lviv

***Zinko Roman Volodymyrovych*** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automated Modeling Systems, Lviv Polytechnic National University, e-mail: rzinko@gmail.com Lviv

УДК 631.3.072:629.3.05

**Петрюк Ю.І., Артюх О.М.**

# ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ АВТОНОМНИХ ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ

*У роботі розглянуто сучасні способи підвищення енергоефективності автономних машинно-тракторних агрегатів в умовах неоднорідних ґрунтів та рельєфу. Проаналізовано інтелектуальні методи керування енергопотоками, зокрема алгоритми глибокого навчання з підкріпленням, нелінійну оптимізацію, заздалегідь сплановане формування маршрутів та спільну роботу кількох автономних машин. Показано, що поєднання прогнозних моделей, адаптивного розподілу потужності та багатосенсорного сприйняття середовища дозволяє суттєво зменшити питомі витрати енергії, знизити буксування й ущільнення ґрунту, а також підвищити стабільність виконання основних технологічних операцій.*

***Ключові слова:*** *автономний трактор, енергоефективність, керування енергією, розподіл навантаження, глибоке навчання з підкріпленням, спільна робота автономних машин, точне землеробство.*

*The paper examines modern approaches to improving the energy efficiency of autonomous machine-tractor units under variable soil and terrain conditions. Intelligent energy flow management methods are analyzed, including deep reinforcement learning algorithms, nonlinear optimization, pre-planned route generation and coordinated operation of multiple autonomous machines. It is shown that combining predictive models, adaptive power distribution and multi-sensor environmental perception significantly reduces specific energy consumption, slippage and soil compaction, while increasing the stability of key technological operations.*

***Keywords:*** *autonomous tractor, energy efficiency, energy management, load distribution, deep reinforcement learning, coordinated autonomous machines, precision agriculture.*

**Актуальність проблеми**

Ефективність використання машинно-тракторних агрегатів у сучасних агротехнологіях значною мірою обмежується високими енергетичними витратами під час виконання тягових операцій у змінних ґрунтово-рельєфних умовах. Варіація тягового опору, буксування рушіїв та неповне використання встановленої потужності двигуна призводять до зниження енергетичної та технологічної ефективності виконання польових робіт.

Рівень енергоспоживання тракторних агрегатів визначається комплексною дією агротехнічних режимів виконання операцій, конструктивно-масових і тягово-швидкісних характеристик агрегату, а також фізико-механічних властивостей ґрунту та умов агрофону. Інтелектуалізація систем керування впливає на ступінь реалізації енергетичного потенціалу машинно-тракторного агрегату, однак не є визначальним фактором формування енергетичних витрат. Традиційні підходи до керування тяговими режимами, що базуються на фіксованих або апріорно заданих параметрах, не забезпечують достатньої адаптації до просторово-часової неоднорідності умов виконання робіт. У зв’язку з цим актуальним є застосування інтелектуальних методів адаптивного керування, спрямованих на узгодження технічних параметрів агрегату, технологічних режимів роботи та змінних характеристик середовища.

Таким чином, підвищення енергоефективності роботизованих машинно-тракторних агрегатів слід розглядати як задачу системної оптимізації процесу їх функціонування на основі інтеграції методів моделювання, прогнозування навантажень та інтелектуального керування енергетичними режимами [1, 4].

**Результати досліджень.**

**Аналіз взаємодії машини з ґрунтом та динамічних процесів**

Ефективність автономних МТА значною мірою залежить від точності опису взаємодії «машина – ґрунт – знаряддя». Останні огляди показують, що комплексне вивчення динаміки та вібраційних процесів у сільськогосподарській техніці дає змогу суттєво підвищити достовірність теоретичних моделей, покращити надійність та загальну ефективність роботи машин [19]. Виділено три основні напрями: взаємодія машини з ґрунтом, механіка «транспортний засіб – поверхня» та динамічні характеристики силової установки й трансмісії. Сучасні підходи поєднують аналітичні розрахунки, чисельне моделювання, багатотілову динаміку з польовими випробуваннями, стендовими тестами та віртуальним прототипуванням. Така інтеграція забезпечує високу точність моделей у реальних умовах. Особливо перспективним є перехід до модельно-орієнтованої інтелектуальної оптимізації та поєднання динамічних моделей з інтелектуальним керуванням, дистанційним керуванням та системами машинного зору — основними елементами точного землеробства [19].

Для оцінки впливу рушіїв на ґрунт широко застосовуються гібридні моделі дискретних елементів (DEM) та багатотілової динаміки (MBD). Вони дозволяють точно прогнозувати глибину колії, опір коченню та ковзання, що стає основою для оперативної зміни розподілу крутного моменту на колесах або гусеницях [45].

Перехід від реагування на перешкоди в момент їх появи до заздалегідь спланованого оптимального маршруту з використанням даних безпілотних літальних апаратів для виявлення рухомих об’єктів (працівники, інша техніка) значно зменшує кількість екстрених маневрів та пов’язані з ними додаткові витрати енергії й часу [22].

**Покриття поля та зменшення ущільнення ґрунту.**

Раціональне планування маршрутів повного покриття поля є важливим резервом економії енергії та захисту ґрунту від надмірного ущільнення. Відкрита бібліотека Fields2Cover пропонує модульний інструментарій для формування траєкторій, який враховує не лише довжину шляху, а й прогнозоване ущільнення на основі фізичних моделей (наприклад SoilFlex). Дослідження з багаторазовими проходами показують, що такий підхід забезпечує менший негативний вплив на ґрунт порівняно з алгоритмами, орієнтованими лише на скорочення довжини [34]. Окремо розроблено методи обробки поворотних смуг з урахуванням кінематичних обмежень трактора та знаряддя, допустимих радіусів і швидкостей зміни кривизни. Різні стратегії формування кутів дозволяють знайти компроміс між скороченням шляху та повним покриттям площі, що зменшує пошкодження головних ділянок і непродуктивні витрати енергії на розворотах [34].

**Інтелектуальні алгоритми розподілу навантаження та крутного моменту.**

Перехід до електричних та гібридних силових установок відкриває можливості для індивідуального керування крутним моментом на кожному колесі. Вдосконалений алгоритм Soft Actor-Critic з урахуванням часових залежностей підвищує тягову ефективність на 8,9–16,7 % та знижує загальне енергоспоживання на 5,6–9,7 % порівняно з класичними ПІД-регуляторами під час оранки [41]. Узгоджене керування кількома приводами на основі теорії ігор та Soft Actor-Critic покращує стабільність глибини обробітку на 13–20 % та середню ефективність електродвигунів на 2,9 % [44]. Для гібридних тракторів стратегії еквівалентної мінімізації витрат з урахуванням ковзання та динамічного розподілу моменту між осями знижують еквівалентні витрати на 14,4 % у складних рельєфних умовах [8].

**Групова робота та координація флоту автономних МТА.**

На великих сільськогосподарських підприємствах найбільший ефект досягається завдяки узгодженій роботі кількох автономних агрегатів одночасно. Системи з кількома автономними машинами дозволяють оптимально розподіляти завдання між ними з урахуванням рівня заряду акумуляторів, ступеня їх деградації та просторових обмежень робочої зони [30]. Гібридні методи рою часток з механізмами відновлення розрідженості рішень показують високу ефективність при одночасному плануванні завантаження та маршрутів кількох агрегатів [43].

**Прогнозування навантаження та адаптація в реальному часі.**

Стабільна робота автономного МТА неможлива без надійного короткострокового прогнозування навантаження. Моделі машинного навчання для аналізу часових рядів дозволяють передбачати тягові зусилля та енергетичні потреби на наступні кроки керування [29]. Поєднання даних кількох сенсорів (момент, прослизання, вібрація) з класифікаторами рельєфу забезпечує адаптивний розподіл потужності залежно від типу поверхні [14].

**Висновки**

Аналіз сучасних досліджень свідчить, що підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів у роботизованих технологіях базується на інтеграції методів моделювання взаємодії «машина – ґрунт» [19, 45], оптимізації траєкторій руху [3, 34] та адаптивного керування енергетичними режимами [41, 44]. Сучасні підходи дозволяють узгодити конструктивні параметри агрегатів, технологічні режими виконання операцій і змінні умови агрофону в єдиній системі керування.

Встановлено, що інтелектуальні алгоритми забезпечують підвищення ефективності використання енергетичного потенціалу тракторних агрегатів за рахунок адаптації режимів функціонування до реальних умов експлуатації. При цьому визначальними чинниками рівня енергоспоживання залишаються конструктивно-технологічні параметри машинно-тракторного агрегату та агротехнічні умови виконання польових робіт.

Отримані узагальнення підтверджують доцільність подальших досліджень у напрямі створення інтегрованих систем інтелектуального керування роботизованими машинно-тракторними агрегатами. Результати аналізу є складовою дисертаційного дослідження «Підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів шляхом їх роботизації» і відкривають шлях до суттєвого підвищення як енергетичної, так і технологічної ефективності агрегатів у реальних умовах експлуатації.

**Список використаних джерел**

1. Al-Sager S. M., Almady S. S., Almasoud W. A., Al-Hamed S. A., Al-Janobi A. A., Aboukarima A. M. Predictive Modeling of Massey Ferguson Tractor Performance Parameters Using Artificial Neural Network Methodology. — *Applied Sciences*. 2026. Vol. 16, no. 4. Article 1818. DOI: https://doi.org/10.3390/app16041818.
2. Bavithra R., Jaya J. Hybrid Optimization and Deep Graph-GRU Based Energy-Efficient Routing and Fault Prediction in WSNs for Smart Agriculture Applications. — *Journal of Electrical Engineering & Technology*. 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s40998-025-01008-9.
3. Belhocine L., Martin G. Integrated Flexible Job Shop Scheduling with Autonomous Electric Tractors Routing and Battery Management. — *ROADEF 2026, Université de Tours*. Feb 2026, Tours, France. hal-05534827. URL: https://hal.science/hal-05534827v1.
4. Benhammou A., Hartani M. A., Nassef A. M., Rezk H. Advanced Energy Management Strategy for Tractor-to-Home Electrification in Off-Grid Agricultural Microgrids. – *IEEE Access*. 2026. Vol. 14. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2026.3663912.
5. Boyina V. A. K., Chettier T. M., Veluri R. K., Kasat K., Periyasamy Y. K., Raghuvanshi A. Validation of robots and artificial intelligence inside agriculture domain. – In: *AI and IoT for Smart Agriculture*. CRC Press, 2026. DOI: https://doi.org/10.1201/9781003562627.
6. Bunton J., Casterton D., Czub J., Downey A., Haslett N., Kinnaman W., McIntire J., Lengacher J., Stwalley R. M. III. Electrical Hybridization of Agricultural Power Units. – *IntechOpen*. 2026. DOI: https://doi.org/10.5772/intechopen.1014045.
7. Cakmak I., Koc C., Gerdan Koc D. Design of an AI-assisted autonomous orchard sprayer with dual spraying mechanisms. – *Pest Management Science*. 2026. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.70520.
8. Cao G., Jiang Y., Zhang J., Yan X., Liu M., Xu L., Tao Y. Research on Hierarchical Collaborative Control of Dual-Axis Drive Hybrid Electric Tractor for Hill and Mountain

Terrain Considering Traction Efficiency and Energy Consumption Economy. – *World Electric Vehicle Journal*. 2026. Vol. 17, no. 3. Article 136. DOI: https://doi.org/10.3390/wevj17030136.

9. Chao X., Yang S. A generative AI-enhanced multitask learning framework for weed detection and drivable area segmentation in smart agriculture. – *Computers and Electronics in Agriculture*. 2026. Vol. 234. Article 111411. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2026.111411.
10. Çıtıl E., Çarman K., Atalay M. F., Ungureanu N., Vlăduț N.-V. Machine Learning-Based Modeling of Tractor Fuel and Energy Efficiency During Chisel Plough Tillage. – *Sustainability*. 2026. Vol. 18, no. 2. Article 855. DOI: https://doi.org/10.3390/su18020855.
11. Colendi L., Tentarelli M., Varani M., Mattetti M. CANBUS to drawbar load estimation: Mapping real-world tractor loads for mission profiling. – *Smart Agricultural Technology*. 2026. Vol. 12. Article 101777. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.101777.
12. Divya C. D., Prapul chandra A. C., Rakesh M., Bharath T. S., Haseebuddin M. R., Sandeep B. Artificial Intelligence enabled robotics and automation in modern agriculture. – *Research Square*. 2026. Preprint. DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-8601053/v1.
13. Gasa S., Sokombela A., Chiuta N. E., Mutengwa C. S. Energy-Efficient Innovations in Agricultural and Food Systems: A Systematic Review of Productivity and Sustainability Outcomes and Adoption Trends. – *Energies*. 2026. Vol. 19, no. 4. Article 1092. DOI: https://doi.org/10.3390/en19041092.
14. Gemechu T. T., Zhou J., Lai G., Ahmad I., Rottok L. T., Li Y., Syed T. N., Aurangzaib M. Real-time terrain classification for all-wheel drive robotic electric tractors using multi-sensor fusion and machine learning. – *Journal of Terramechanics*. 2025. Vol. 119. Article 101098. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jterra.2025.101098.
15. Grahmann K., Thielemann L., Rohlmann L., Roy A., Weltzien C. The Role of Autonomous Mechanical Weeding Robots in Climate-Smart Soil Management: A Scoping Review. – *European Journal of Soil Science*. 2026. Vol. 77, no. 2. Article e70302. DOI: https://doi.org/10.1111/ejss.70302.
16. Guan X., Nie S., Ge H., Ding Y., Yang J. Research Status and Development Trends of Adjustable Precision Seeders. – *Agronomy*. 2026. Vol. 16, no. 5. Article 495. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy16050495.
17. Haritwal S. NEXAT: A System-Based Approach to Integrated and Soil-Conserving Crop Production. – *SSRN*. 2026. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.6143548.
18. Ishore B., Bhargav A. M., Patel S. K., Kumar V., Sinha J., Kumar S. Advancing Smart Agriculture: How IoT and 5G Technologies Enhance Precision Farming and Sustainability. – *International Journal of Communication Systems*. 2026. Article e70310. DOI: https://doi.org/10.1002/dac.70310.
19. Jiang Z., Chang Y., Shehzad A. et al. Dynamics and vibration analysis of agricultural machinery systems: recent advances and future perspectives. – *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2026. Vol. 48, no. 2. Article 67. DOI: https://doi.org/10.1007/s40430-025-06024-8.
20. Jindo K., van der Wal T., Tielen J. Precision Application and New Spraying Technologies. – *Wageningen University & Research*. 2026. DOI: https://doi.org/10.18174/709011.
21. Karad M. M., Mulwani P. V., Shaik N., Jyothi P., Saxena V. M., Shaikh N. Edge computing for real-time precision agriculture applications. – In: *Edge Computing for Smart Agriculture*. CRC Press, 2026. DOI: https://doi.org/10.1201/9781003520733.
22. Katikaridis D., Benos L., Kateris D., Papageorgiou E., Karras G., Menexes I., Berruto R., Sørensen C. G., Bochtis D. Proactive Path Planning Using Centralized UAV-UGV Coordination in Semi-Structured Agricultural Environments. – *Applied Sciences*. 2026. Vol. 16, no. 2. Article 1143. DOI: https://doi.org/10.3390/app16021143.
23. Kulkarni R., Manikandaprabhu P., Wankhede D. S., Kumar B. V., Vasuki M., Rasmi A. AI-Driven Optimization of Renewable Energy Systems. – In: *Intelligent Systems for Smart*

*Energy*. Wiley, 2026. DOI: https://doi.org/10.1002/9781394384990.ch7.
24. Kunarak S. Energy Management Revolution in Unmanned Aerial Vehicles Using Deep Learning Approach. – *Applied Sciences*. 2026. Vol. 16, no. 1. Article 503. DOI: https://doi.org/10.3390/app16010503.
25. Li H., Sun J., Lu Z. Evaluation of energy-saving ability of PnG-ACC mode: From the single vehicle to the emerging mixed traffic flow. – *Asian Journal of Control*. 2026. DOI: https://doi.org/10.1002/asjc.70053.
26. Li H., Guo Y., Cheng S., Yao T., Cui G. Improved Model and Strategy Optimization for Energy Management of the Power System in Range-Extended Sprayers Based on AVL-CRUISE and MATLAB/Simulink. – *Agriculture*. 2026. Vol. 16, no. 5. Article 580. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture16050580.
27. Li Y., Wu Y., Liu M., Xu L., Lei S. Energy Management Strategy for Hydrogen Fuel Cell Tractors Integrating Online Dynamic Response Capability. – *World Electric Vehicle Journal*. 2026. Vol. 17, no. 3. Article 115. DOI: https://doi.org/10.3390/wevj17030115.
28. Lin T., Sun F., Li X., Guo X., Ying J., Wu H., Li H. A Review of Key Technologies and Recent Advances in Intelligent Fruit-Picking Robots. – *Horticulturae*. 2026. Vol. 12, no. 2. Article 158. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae12020158.
29. Liu Y., Tan J., Tan G., Chen E., Gao B., Zhao K. Artificial Intelligence-Driven Energy Management: A Strategy for Hybrid Electric Vehicle Trains Integrating Nondominated Sorting Dynamic Programming and Deep Learning. – *IEEE Vehicular Technology Magazine*. 2026. DOI: https://doi.org/10.1109/MVT.2026.3655907.
30. Loknar M. B., Rožman N., Malus A., Vrabič R., Šketa J., Žužek T., Berlec T., Kozjek D. Optimizing Charging Management of Agricultural Wheeled Ground Autonomous Mobile Robot Fleets. – *SSRN*. 2026. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.6056940.
31. M. R., T. G., P. V., Natarajan S., et al. Smart Stability: Automation of Braking Solutions, Hill Hold and Parking Brake Strategy in Tractors Using Electro-Hydraulic Actuation. – *SAE Technical Paper*. 2026. No. 2026-26-0205. DOI: https://doi.org/10.4271/2026-26-0205.
32. Magdziak-Tokłowicz M. Method for the Assessment of Fuel Consumption in Heavy-Duty Machines Based on Integrated Environmental, Vehicle and Human Models. – *Energies*. 2026. Vol. 19, no. 3. Article 600. DOI: https://doi.org/10.3390/en19030600.
33. Manono B. O., Mwami B., Mutavi S., Nzilu F. Precision Farming with Smart Sensors: Current State, Challenges and Future Outlook. – *Sensors*. 2026. Vol. 26, no. 3. Article 882. DOI: https://doi.org/10.3390/s26030882.
34. Mier G. Fields2Cover: Transparent and efficient coverage paths for autonomous agricultural vehicles. – *Wageningen University & Research*. 2026. DOI: https://doi.org/10.18174/681452.
35. Qi X., Luo M., Zhang R., Sui P.-C. Health-aware energy management strategy for fuel cell hybrid electric vehicles based on an improved soft actor-critic framework. – *International Journal of Hydrogen Energy*. 2025. Vol. 98. P. 153-165. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.153313.
36. Rosy C. P., Thaiyalnayaki S., Bhuvaneshwari A., Ambudkar B., Malarvizhi D., Sathya G. An Queue learning-based scheduling strategy with Hybrid Lyrebird Falcon Optimization for load balancing-based cloud services. – *Franklin Open*. 2026. Vol. 18. Article 100507. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fraope.2026.100507.
37. Shuriya B. Adoption of Deep Learning Driven Precision Agriculture for Optimizing Crop Productivity and Soil Health via Predictive Analytics and Autonomous Sensing Mechanisms. – *Preprints*. 2025. DOI: https://doi.org/10.20944/preprints202512.2764.v1.
38. Singh O., Vinoth R., Singh A., Singh N. Emerging AIoT Technologies for Efficient Data Collection and Decision Making in Smart Farming. – *International Journal of Communication Networks and Information Security*. 2026. Vol. 18, no. 1. P. 1-18. URL: https://www.ijcnis.org/index.php/ijcnis/article/view/8713.
39. Supraja T., Chawla P. GreenEdge: An Energy-Efficient Service Placement Framework for Smart Agriculture Applications. – *SSRN*. 2026. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.6095768.

40. Tang Z., Chu P., Fang M. et al. From compaction to coexistence: A review of chassis engineering for intelligent agricultural machinery in complex paddy field ecosystems. – *Science Progress*. 2026. Vol. 109, no. 2. DOI: https://doi.org/10.1177/00368504261420946.
41. Tong Y., Xie B., Zhao Z., Chen Z., Luo Z., Niu Z., Wen C., Yan X. Improved SAC reinforcement learning algorithm: Active control of drive wheel torque to improve energy utilization and reduce power consumption in electric tractors. – *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025. Vol. 238. Article 111258. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.111258.
42. Vanitha N. S., Radhika K., Thangamani M. Mechatronic Systems in Smart Agriculture: Potentials and Challenges. – In: *Mechatronics in Agriculture*. Bentham Books, 2026. DOI: https://doi.org/10.2174/97988988125841260101.
43. Wang W., Tu Y., Wang Y., Jiang Q. Multi-Cooperative Agricultural Machinery Scheduling with Continuous Workload Allocation: A Hybrid PSO Approach with Sparsity Repair. – *Agriculture*. 2026. Vol. 16, no. 1. Article 136. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture16010136.
44. Wen C., Ma X., Jia F., Yan X., Meng Z., Song Z., Luo Z. Collaborative control mechanism based on reinforcement learning and game theory: Effectively improving the operational quality of electric tractor ploughing units. – *Computers and Electronics in Agriculture*. 2026. Vol. 241. Article 111517. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2026.111517.
45. Weng X., Xi X., Shi Y., Zhang R. A tractor tyre rut depth model based on DEM-MBD coupling simulation for improved tillage depth measurement. – *Biosystems Engineering*. 2025. Vol. 254. P. 1-12. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2025.104361.
46. Xie X., Zhang C., Li X., Li M., Ma H., Zhong G. Event-Triggered Hierarchical DDPG-MPC for Dynamic High-Point Tracking of Mobile Platforms on Unstructured Terrain. – *IEEE Access*. 2026. Vol. 14. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2026.3664818.
47. Zhang X., Huang Y., Cheng Y., Liang L., Wen X., Xue M. Dynamic modeling and analysis of coupled terrain-adaptive and damping vibrations for high-speed mobile robots. – *SSRN*. 2026. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.6036710.

***Петрюк Юрій Іванович*** – аспірант кафедри автомобілів, теплових двигунів та гібридних енергетичних установок НУ «Запорізька політехніка»

***Артюх Олександр Миколайович*** – к.т.н., доцент, зав. кафедри автомобілів, теплових двигунів та гібридних енергетичних установок НУ «Запорізька політехніка»

***Petriuk Yurii*** – Postgraduate student of the Department of Automobiles, Heat Engines and Hybrid Power Plants, National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

***Artyukh Oleksandr*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles, Heat Engines and Hybrid Power Plants, National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

УДК 629.3.082.2

**Пікула М.В.**

# РОЗВИТОК МОБІЛЬНОГО АВТОСЕРВІСУ У М. РІВНЕ

*Сучасний розвиток автосервісу базується на впровадженні новаторських проектів та розширенні спектра послуг, що відповідають реальним потребам автовласників. Одним з шляхів розвитку автосервісу є послуга ремонту автомобіля на виклик – сервіс, який лише починає набирати популярності. Розвиток цього сегмента автопослуг стає актуальним зараз, особливо на тлі зростання кількості автомобілів. Математичним моделюванням виконано спробу спрогнозувати кількість підприємств мобільного автосервісу на вибраній території, яка б повною мірою задовольняла потреби споживачів таких послуг.*

***Ключові слова:*** *ремонт автомобілів, мобільний автосервіс, пересувні ремонтні майстерні, розмір автомобільного парку, моделювання станцій автосервісу.*

*The modern development of car service is based on the implementation of innovative projects and expanding the range of services that meet the real needs of car owners. One of the ways to develop car service is the on-call car repair service - a service that is only beginning to gain popularity. The development of this segment of car services is becoming relevant now, especially against the background of the growth of the number of cars. An attempt was made by mathematical modeling to predict the number of mobile car service enterprises in the selected territory that would fully satisfy the needs of consumers of such services.*

***Keywords:*** *car repair, mobile car service, mobile repair shops, the size of the car fleet, modeling of car service stations..*

Статистика свідчить, що половина водіїв стикалася з несправностями автомобіля під час руху. Оскільки не всі можуть виконати ремонт на місці, зазвичай виникає необхідність виклику евакуатора і подальшого ремонту у стаціонарному автосервісі. Альтернативою може стати мобільний автосервіс, який дозволяє вирішувати проблеми безпосередньо на місці.

Однак в Україні такі сервіси ще недостатньо поширені навіть у великих містах, і часто їх послуги зводяться лише до евакуації автомобіля. Послуга ремонту автомобіля на виклик лише починає набирати популярності, що робить розвиток цього сегмента актуальним, особливо на тлі зростання кількості автомобілів.

Близько 85% несправностей автомобіля можуть бути усунуті безпосередньо на місці: шиномонтажні роботи, підзарядка АКБ, комп'ютерна діагностика, перевірка рівня робочих рідин, усунення причини зупинки двигуна, запуск двигуна. Такі роботи не вимагають складного обладнання і можуть виконуватись по місцю знаходження автомобіля. З метою економії часу можна користуватись послугами мобільних станцій технічного обслуговування, які виїжджають на місце перебування автомобіля.

На сучасному етапі ремонт і діагностика зростаючого автопарку на великих територіях є ускладненим через відсутність розвиненої інфраструктури автомобільних сервісів на віддалених ділянках. Крім того, функціональність таких засобів обмежується технічними факторами, наприклад, відсутністю організованого робочого простору, що включає необхідне обладнання для виконання робіт у мобільних автосервісах. Ці обмеження вказують на необхідність удосконалення підходів до організації мобільного автосервісу.

Дослідженню теоретико-методологічних проблем функціонування та розвитку систем автосервісу присвячено багато наукових праць. Серед науковців, які досліджували проблеми автосервісних послуг, можна назвати В. Біліченка [1], О. Маркова [2, 3], Воркута Т.А. [4], А. Левківського [5] та інших.

В результаті аналізу видів автопослуг було визначено чотири основні послуги, які надаються автосервісами усіх типів – шиномонтаж і балансування коліс; відновлювальний ремонт автомобіля; діагностика і ремонт агрегатів і систем; технічне обслуговування.

Проте час ставить нові вимоги до ринку послуг автосервісу. Тому автосервісні підприємства розширюють асортимент послуг, в тому числі - і мобільний автосервіс.

О. Марков визначає мобільний автосервіс як пересувну станцію техобслуговування, встановлену на базі вантажного автомобіля. Він виділяє два основні напрями роботи таких сервісів: допомога на дорозі для автомобілів, які зазнали поломок чи потрапили в аварію, а також проведення ремонту та обслуговування вдома у власника. Але за кордоном активно практикується і абонементську модель, коли клієнти можуть розраховувати на цілодобову технічну допомогу незалежно від місця розташування. Якщо проблему не можна вирішити на місці, автомобіль буксирують у вибрану клієнтом ремонтну майстерню, а самого клієнта відправляють додому власним транспортом або таксі.

В Україні розвиток мобільного автосервісу обмежений, але такі сервіси уже починають набирати популярність. Причому, потрібно зазначити, що примітивний мобільний сервіс застосовується вже відносно давно, особливо для сільськогосподарської та військової техніки. Пересувні ремонтні майстерні використовуються в армії і на великих підприємствах, які працюють на великих територіях, таких як гірничодобувні, нафтовидобувні компанії тощо.

У зв'язку зі слабким розвитком дорожнього сервісу для магістральних вантажівок в Україні поширюється практика ремонту таких автомобілів прямо на автомагістралях – за допомогою мобільних бригад. Наприклад, використовуються вантажівки з повноцінним обладнанням для тривалої роботи поза техцентром, включно зі спальними місцями для механіків. У таких бригадах працюють висококваліфіковані спеціалісти, оснащені ноутбуками для доступу до технічної документації й зв'язку з техцентром або клієнтами.

Проєктування мобільного автосервісу — це складний процес, який потребує врахування багатьох аспектів, від технічних вимог до економічної доцільності. Для визначення необхідного обсягу ресурсів і масштабів такого сервісу важливо провести аналіз ємності ринку. Місткість ринку в цьому випадку визначає потенційний обсяг продажів послуг у конкретному регіоні за певний період часу, враховуючи рівень платоспроможного попиту та доступні пропозиції. Цей показник також залежить від цінової політики на ринку послуг.

Формування місткості ринку залежить від різних факторів. Так, для мобільного автосервісу можна виділити кілька основних груп чинників, що впливають на розвиток цієї сфери. Серед ключових чинників, які впливають на попит і структуру ринку мобільних автосервісів, можна виділити такі:

1) обмеженість площ для розташування стаціонарних СТО;

2) високі витрати на будівництво чи оренду приміщень;

3) збільшення попиту на послуги виїзного ремонту серед зайнятих клієнтів та в регіонах із низькою густотою населення;

4) активний розвиток засобів комунікації.

Усі ці аспекти не лише стимулюють попит на послуги мобільних автосервісів, але й впливають на структуру ринку. Для аналізу було обрано найважливіші фактори, серед яких:

1) розмір автомобільного парку;

2) рівень доходів клієнтів і ціни на послуги.

*Розмір автомобільного парку* охоплює кількість ТЗ, рівень їхніх продажів, динаміку цін на ринку автомобілів, рівень добробуту населення. Сукупність цих показників визначає доступність автомобілів для населення і приріст автопарку в певних вікових та цінових сегментах. Наприклад, експерти відзначають, що автомобілі малого та середнього класу стали доступнішими для представників середнього класу. У той же час, зниження купівельної спроможності вплинуло на доступність нових автомобілів для більшої частини населення.

*Доходи клієнтів і ціни на послуги* визначають можливість споживачів користуватися послугами мобільного автосервісу. Як правило, ці послуги належать до категорії, попит на яку виникає після досягнення певного рівня доходу. Крім того, у випадках підвищення комфорту

автомобілів, наприклад, шляхом встановлення кондиціонерів, підігріву сидінь, відеореєстраторів, споживачі починають активно користуватися додатковими послугами мобільного сервісу.

Для міста Рівне ретроспективні значення вищезазначених факторів відображені в табл.1, де кількість автомобілів розрахована на основі показника «кількість авто на 1000 жителів» по Рівненській області. На сьогодні у місті серед приблизно 100 підприємств і пуктів автосервісу послуги «мобільного механіка» виконують всього 8 – 10 підприємств. Визначені числові значення факторів дозволяють змоделювати кількість станцій автосервісу, які виконували б такі послуги і в повному об'ємі задовольняли потреби споживачів.

Таблиця 1 – Фактори впливу на ринок мобільного автосервісу у м. Рівне за 2019/24 р.р.

| Фактори / Рік | Кількість автомобілів, шт. | Прожитковий мінімум на душу населення, грн | ВВП на душу населення, грн. | Кількість підприємств мобільного автосервісу |
|---|---|---|---|---|
| | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | Y |
| 2019 | 23019 | 2027 | 94589,8 | 2 |
| 2020 | 25417 | 2118 | 100 432 | 2 |
| 2021 | 27820 | 2189 | 131 907 | 4 |
| 2022 | 30378 | 2508 | 126 152 | 5 |
| 2023 | 42064 | 2589 | 158 882 | 7 |
| 2024 | 37010 | 2920 | 220035,1 | 9 |

Кореляційна матриця оцінки тісноти зв'язку між дослідженими параметрами, такими як кількість мобільних автосервісів у м. Рівне, кількість автомобілів, прожитковий мінімум та ВВП на душу населення, наведена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Кореляційна матриця зв'язку між параметрами

| - | *Y* | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ |
|---|---|---|---|---|
| *Y* | 1 | 0,889 | 0,974 | 0,964 |
| $X_1$ | 0,889 | 1 | 0,838 | 0,780 |
| $X_2$ | 0,974 | 0,838 | 1 | 0,934 |
| $X_3$ | 0,964 | 0,780 | 0,934 | 1 |

Відповідно до отриманих результатів між усіма параметрами є сильний статистичний взаємозв'язок. Параметри $X_1$ та $X_2$, зокрема, характеризують економічну ситуацію в країні та пов'язані один з одним.

Більш глибоко оцінити сутність самих зв'язків між параметрами дає регресійний аналіз.

На першому етапі було отримано рівняння лінійної регресії з урахуванням усіх факторів та перевірено значимість коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Стьюдента. Фактор $X_2$ (прожитковий мінімум на душу населення) виявився не значимими за коефіцієнтом Стьюдента.

На другому етапі цей фактор був виключений та отримано рівняння лінійної регресії з урахуванням факторів $X_1$ та $X_3$. Коефіцієнти отриманого рівняння регресії є значимими за критерієм Стьюдента.

Отримане лінійне рівняння регресії має вигляд:

$$Y_{розр} = -5{,}11 + 0{,}00013411X_1 + 0{,}00004181X_3, \text{ од.}$$

де $Y_{розр}$ – розрахункова кількість мобільних автосервісів у м. Рівне; $X_1$ – кількість автомобілів у м. Рівне, од; $X_3$ – ВВП на душу населення, грн.

Коефіцієнт кореляції для отриманого рівняння регресії становить 0,977, що свідчить про високу тісноту зв'язку.

Значимість отриманого рівняння регресії перевірено за критерієм Фішера, значення якого (64,4) перевищує табличне (5,14), що підтверджує значимість отриманого рівняння регресії.

Отже, виконані дослідження показують, що кількість мобільних автосервісів має тісний зв'язок з кількістю автомобілів, яка характеризує потенційний об'єм ринку та ВВП на душу населення, що характеризує платоспроможність громадян. Рівень прожиткового мінімуму виявився не значимим.

**Список використаних джерел**

1. Біліченко В.В. Методичні основи розробки проекту стратегічного розвитку підприємств автомобільного транспорту. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. № 3. Вінниця, 2008. С. 162–165.

2. Тарандушка Л.А., Костьян Н.Л., Марков О.Д., Біліченко В.В. Розробка функціональної моделі мережі автосервісних підприємств. *Вісник машинобудування та транспорту.* №1(11). Вінниця, 2020. С. 133−139.

3. Марков О. Д. Організація автосервісу : монографія. Львів: Оріяна-Нова, 2008. 536 с.

4. Воркут Т.А. Проектування систем транспортного обслуговування в ланцюгах постачань : монографія. К. : НТУ, 2002. 248 с.

5. Левківський А.О. Визначення кількості підприємств технічного сервісу на основі аналізу транспортного потоку. *Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки».* №2(82). Житомир, 2018. С. 94−98.

6. Хаврук В.О. Загальна характеристика факторів, що впливають на функціонування станцій технічного обслуговування автомобілів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті.* Том 2, № 19, 2022. С. 203–213.

***Пікула Микола Веніамінович*** — старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування (33000, м. Рівне, вул. Соборна, 11, e-mail: m.v.pikula@nuwm.edu.ua).

***Mykola Pikula*** *– senior lecturer at the Department of Automobiles and Automotive Engineering of the National University of Water Management and Environmental Management (33000, Rivne, 11 Soborna St., e-mail: m.v.pikula@nuwm.edu.ua).*

УДК 658.7

**Плекан У.М., Матвіїшин А.Й.**

# ТРАНСПОРТНА СКЛАДОВА В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАВОК

*Досліджено роль транспорту та транспортних маршрутів у системі управління ланцюгами поставок підприємств. Обґрунтовано вплив транспортних рішень і маршрутизації на рівень логістичних витрат, тривалість логістичного циклу та якість обслуговування споживачів. Визначено значення оптимізації транспортних процесів для підвищення ефективності функціонування ланцюгів поставок.*

***Ключові слова:*** *транспорт; ланцюги поставок; транспортні маршрути; логістичні витрати; маршрутизація; управління логістикою; оптимізація.*

*The role of transport and transport routes in the supply chain management system of enterprises is examined. The influence of transport decisions and routing on the level of logistics costs, the duration of the logistics cycle, and the quality of customer service is substantiated. The importance of transport process optimization for increasing the efficiency of supply chain functioning is determined.*

***Key words:*** *transport; supply chains; transport routes; logistics costs; routing; logistics management; optimization.*

В умовах глобалізації економічних процесів, посилення конкуренції та нестабільності зовнішнього середовища зростає значення ефективного управління ланцюгами поставок. Сучасні підприємства функціонують у складній системі взаємозв'язків із постачальниками сировини, виробничими підрозділами, логістичними операторами, дистриб'юторами та кінцевими споживачами. У такій системі транспорт виступає не лише засобом фізичного переміщення вантажів, а стратегічним елементом забезпечення безперервності матеріальних потоків, узгодженості операцій та досягнення конкурентних переваг. Господарська діяльність передбачає здійснення транспортних операцій — на етапах постачання ресурсів, внутрішньовиробничого переміщення, складування та розподілу готової продукції. Саме транспорт формує просторову єдність ланцюга поставок, забезпечуючи зв'язок між його учасниками. Від ефективності організації транспортних процесів значною мірою залежить ритмічність виробництва, своєчасність виконання замовлень та рівень обслуговування клієнтів.

Суттєву частку логістичних витрат становлять витрати на транспортування. Вони впливають на кінцеву собівартість продукції, фінансові результати підприємства та його позиції на ринку. У зв'язку з цим обґрунтований вибір виду транспорту, типу рухомого складу та схеми маршрутизації є важливим управлінським завданням. Раціональна організація транспортних перевезень дозволяє мінімізувати непродуктивні витрати, скоротити тривалість логістичного циклу та підвищити оборотність ресурсів.

Особливе місце в системі управління ланцюгами поставок посідає процес формування маршрутів перевезення. Маршрутизація визначає траєкторію руху матеріальних потоків між пунктами відправлення та призначення з урахуванням територіального розміщення контрагентів, обсягів вантажопотоків, технічних характеристик транспортних засобів та встановлених часових обмежень. Раціонально побудовані маршрути забезпечують повніше використання вантажопідйомності рухомого складу, скорочення холостого пробігу та зменшення витрат пального.

Вибір виду транспорту має здійснюватися з урахуванням характеристик вантажу, дальності перевезення, необхідної швидкості доставки та економічної доцільності. Для коротких і середніх відстаней особливу роль відіграє автомобільний транспорт, який характеризується високою маневреністю та можливістю доставки за принципом «від дверей до дверей». Це дозволяє мінімізувати кількість перевантажувальних операцій і скоротити супутні витрати на

складування та обробку вантажів. Водночас для масових і довгострокових перевезень на значні відстані можуть бути економічно доцільними залізничний або водний транспорт, що потребує комплексного порівняльного аналізу.

Формування ефективних маршрутів передбачає дотримання низки принципів: максимального використання пробігу транспортних засобів, забезпечення повного або раціонального завантаження, узгодження тривалості рейсу з режимом праці персоналу, а також вибору найкоротших або найменш витратних шляхів сполучення. Важливим є врахування просторової концентрації пунктів відправлення та доставки, стабільності вантажопотоків і можливості організації кільцевих або маятникових маршрутів.

Поняття оптимального маршруту в контексті управління ланцюгами поставок охоплює не лише мінімізацію транспортних витрат, а й забезпечення встановлених термінів доставки, збереження якісних характеристик продукції та дотримання вимог безпеки. Таким чином, критерії оптимальності мають комплексний характер і повинні враховувати економічні, часові та якісні параметри.

Сучасний розвиток інформаційних технологій значно розширює можливості управління транспортними процесами. Використання систем GPS-моніторингу, програмних продуктів для планування маршрутів, технологій обробки великих даних та автоматизованих систем управління перевезеннями сприяє підвищенню точності розрахунків і прозорості логістичних операцій. Застосування методів математичного моделювання та алгоритмів розв'язання задач маршрутизації дозволяє знаходити найбільш раціональні рішення навіть за умов значної кількості пунктів доставки та наявності численних обмежень.

У період економічної нестабільності, зростання вартості ресурсів і посилення конкуренції ефективна транспортна логістика стає чинником підвищення стійкості підприємства. Гнучкість маршрутної мережі, можливість оперативного коригування схем перевезення та диверсифікація транспортних рішень забезпечують адаптивність ланцюгів поставок до змін зовнішнього середовища.

Отже, транспорт і транспортні маршрути відіграють ключову роль в управлінні ланцюгами поставок, визначаючи ефективність функціонування всієї логістичної системи. Раціональна організація перевезень, оптимізація маршрутів та впровадження сучасних інформаційних технологій є необхідними умовами зниження сукупних витрат, підвищення якості обслуговування та зміцнення конкурентних позицій підприємств. У сучасних умовах саме інтегроване управління транспортними процесами формує основу для забезпечення надійності, безперервності та економічної результативності ланцюгів поставок.

***Плекан Уляна Михайлівна*** – канд. екон. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, к. 201 б, e -mail: uliana_plekan@ukr.net

***Матвіїшин Анатолій Йосипович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, к. 201 б, e -mail: vnv123@ukr.net)

***Plekan Uliana*** – Candidate of Economic Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of automobiles of Ternopil Ivan Puluj National Technical University (Ternopil, 28 Tekstilna Street, 28, room 201 b, e-mail: biiiv @ukr.net).

Ma***tviishyn Anatolii*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of automobiles of Ternopil Ivan Puluj National Technical University (Ternopil, Tekstilna Street, 28, room 201 b, e-mail: vnv123@ukr.net).

УДК 658.5:656.13

**Плекан У.М., Плекан В.І.**

# УПРАВЛІННЯ ЕКОНОМІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Обґрунтовано методичні засади управління економічною безпекою автотранспортних підприємств в умовах зростання зовнішніх і внутрішніх загроз. Розкрито зміст забезпечення управління економічною безпекою з урахуванням галузевої специфіки, а також визначено ключову роль інформаційно-аналітичної підтримки у прийнятті управлінських рішень. Доведено необхідність системного підходу до ідентифікації, оцінювання та нейтралізації ризиків для забезпечення стабільного функціонування підприємств.*

***Ключові слова:*** *економічна безпека, автотранспортні підприємства, управління, загрози, ризики, інформаційно-аналітичне забезпечення, фінансова стійкість.*

*The methodological foundations of managing the economic security of motor transport enterprises under conditions of increasing external and internal threats is substantiated. The content of ensuring the management of economic security is disclosed taking into account industry specifics, and the key role of information and analytical support in managerial decision-making is determined. The necessity of a systemic approach to the identification, assessment and neutralization of risks in order to ensure the stable functioning of enterprises is proved.*

***Key words:*** *economic security, motor transport enterprises, management, threats, risks, information and analytical support, financial stability.*

У сучасних умовах господарювання ймовірність виникнення та заподіяння шкоди суб'єктам підприємницької діяльності внаслідок дії зовнішніх і внутрішніх загроз є максимально високою. Динамічність економічного середовища, нестабільність фінансових ринків, зміни у податковому та митному регулюванні, посилення конкурентної боротьби, зростання вартості енергоресурсів, цифровізація бізнес-процесів і кіберризики, а також військово-політичні та соціально-економічні виклики суттєво підвищують рівень невизначеності функціонування підприємств.

Особливо чутливими до впливу дестабілізуючих факторів є автотранспортні підприємства, діяльність яких пов'язана з високою залежністю від стану паливно-енергетичних ринків, технічного стану рухомого складу, логістичної інфраструктури, нормативно-правового регулювання перевезень, а також людського фактора. У таких умовах забезпечення управління економічною безпекою виступає ключовою передумовою стабільності, конкурентоспроможності та довгострокового розвитку підприємств галузі.

Економічна безпека автотранспортного підприємства доцільно розглядати як такий стан його ресурсного, фінансового, виробничо-технічного, кадрового та інформаційного потенціалу, який забезпечує захищеність від внутрішніх і зовнішніх загроз, стійкість до негативних впливів і здатність до сталого розвитку.

Специфіка автотранспортних підприємств обумовлює наявність характерних ризиків:

- фінансових (зростання цін на паливо, коливання валютних курсів);
- виробничо-технічних (зношеність рухомого складу, порушення графіків перевезень);
- логістичних (перебої у постачанні, блокування транспортних коридорів);
- кадрових (дефіцит кваліфікованих водіїв, порушення трудової дисципліни);
- інформаційних (втрата комерційної інформації, кіберзагрози);
- правових (зміни законодавства, штрафні санкції).

Управління економічною безпекою автотранспортного підприємства полягає у цілеспрямованому впливі на зазначені сфери з метою мінімізації ризиків, попередження кризових явищ

та формування умов для стабільного функціонування. Воно має системний характер і передбачає інтеграцію функцій планування, організації, мотивації, контролю та аналізу в єдину безпекову політику підприємства.

Забезпечення управління економічною безпекою автотранспортних підприємств доцільно здійснювати на основі таких методичних положень, як: системність і комплексність, превентивність, адаптивність, інформаційна обґрунтованість управлінських рішень та економічна доцільність.

Процес забезпечення управління економічною безпекою включає такі етапи:

1. Ідентифікація та класифікація загроз;
2. Оцінювання рівня економічної безпеки за системою показників;
3. Аналіз чутливості підприємства до дії ризиків;
4. Розроблення та впровадження заходів нейтралізації загроз;
5. Моніторинг і коригування безпекової політики.

Важливим елементом методичного забезпечення є формування системи показників, що дозволяє кількісно оцінити стан економічної безпеки. Для автотранспортних підприємств доцільно використовувати такі індикатори, як рентабельність перевезень, коефіцієнт технічної готовності рухомого складу, рівень дебіторської заборгованості, коефіцієнт плинності кадрів, частота аварійних випадків, показники ліквідності та фінансової стійкості.

Ефективність управління економічною безпекою автотранспортного підприємства безпосередньо залежить від якості інформаційного забезпечення. У сучасних умовах саме інформація стає стратегічним ресурсом, який визначає здатність підприємства адекватно реагувати на загрози.

Забезпечення управління економічною безпекою передбачає визначення релевантної інформації, необхідної для оцінювання ризиків та прийняття управлінських рішень; узагальнення даних з різних джерел; перевірку достовірності інформації; аналітичну обробку даних з використанням економіко-математичних методів, моделювання, прогнозування та сценарного аналізу. Інформаційно-аналітичне забезпечення виступає основою формування превентивної системи економічної безпеки автотранспортного підприємства.

В умовах зростання невизначеності та посилення дії зовнішніх і внутрішніх загроз управління економічною безпекою автотранспортних підприємств набуває стратегічного значення. Його забезпечення повинно базуватися на системному, комплексному та превентивному підходах, що охоплюють усі функціональні складові діяльності підприємства.

***Плекан Уляна Михайлівна*** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, к. 201 б, e -mail: uliana_plekan@ukr.net)

***Плекан Віталій Іванович*** – здобувач кафедри обліку і оподаткування Західноукраїнського Національного Університету (м. Тернопіль, вул. Львівська,11, к. 1421, e -mail: vitalii. plekan@gmail.com)

***Plekan Uliana*** – Candidate of Economic Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of automobiles of Ternopil Ivan Puluj National Technical University (Ternopil, 28 Tekstilna Street, 28, room 201 b, e-mail: biiiv @ukr.net).

***Vitalii Plekan*** – postgraduate applicant of the Department of Accounting and Taxation, West Ukrainian National University (Ternopil, 11 Lvivska St., room 1421, e -mail: vitalii. plekan@gmail.com).

УДК 629.3.01:004.

**Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Кальченко В.В., Худяков І.В.**

# ФОРМУВАННЯ АЛГОРИТМУ ПРОЦЕСУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

*До складу системи інформаційного забезпечення моніторингу транспортного засобу (ТЗ) входять складові: система збирання, зберігання і розповсюдження технічної інформації про стан ТЗ під час експлуатації; засоби автоматизованої діагностики ТЗ; географічні дані стану шляхів, об'єктів транспортної інфраструктури та доріг; система збирання і передачі отриманих даних; комплекс контролю технічного стану та планування умов експлуатації ТЗ; прилади візуалізації отриманих даних моніторингу стану ТЗ, доріг та зв'язку з водієм і іншими учасниками дорожнього руху. Основна задача формування методики ідентифікації ТЗ в різних умовах експлуатації та в інформаційних умовах інтелектуальних транспортних систем (Intelligent Transport Systems) ITS, ідентифікація ТЗ в системах дистанційного моніторингу, як складної системи, базується на отриманні інформації про ТЗ, його технічний стан, методи та засоби її реалізації при вирішенні науково-технічних задач, оцінки та перевірки у відповідності до встановлених обмежень, критеріїв оцінювання отриманих показників та визначення взаємозв'язку між ними. Тобто, створюється можливість реалізовувати та сформувати в практичній діяльності алгоритм ідентифікації ТЗ в межах інформаційно програмного комплексу засобами ITS.*

***Ключові слова:*** *транспортний засіб; інтелектуальні транспортні системи; інформаційні системи; моніторинг; транспортні технології.*

*The information support system for monitoring a vehicle (Vehicle) includes the following components: a system for collecting, storing and distributing technical information about the condition of the vehicle during operation; means of automated diagnostics of the vehicle; geographical data on the condition of roads, transport infrastructure facilities and roads; a system for collecting and transmitting the received data; a complex for monitoring the technical condition and planning the operating conditions of the vehicle; devices for visualizing the received data for monitoring the condition of the vehicle, roads and communication with the driver and other road users. The main task of forming a methodology for identifying the vehicle in various operating conditions and in the information conditions of intelligent transport systems (ITS), vehicle identification in remote monitoring systems, as a complex system, is based on obtaining information about the vehicle, its technical condition, methods and means of its implementation when solving scientific and technical problems, evaluation and verification in accordance with the established limitations, criteria for evaluating the obtained indicators and determining the relationship between them. That is, an opportunity is created to implement and form in practical activities a vehicle identification algorithm within the information software complex using ITS tools.*

***Keywords:*** *vehicle; intelligent transport systems; information systems; monitoring; transport technologies.*

Початковим етапом інформаційної моделі інформаційно програмного комплексу (ІПК) є отримання даних про ТЗ в процесі його ідентифікації. Одночасно відбувається процес ідентифікації діагностичного бортового обладнання. Даний етап для інформаційної моделі ІПК пояснюється, якістю розпізнавання технологічного обладнання для здійснення ідентифікації і самого ТЗ [1-5].

Ідентифікацію ТЗ в системах дистанційного моніторингу проводять за VIN-кодом (Vehicle Identification Number) або ідентифікаційний номером ТЗ [1]. VIN-код – оригінальний код ТЗ, складається з комбінації сімнадцяти (цифрових та літерних) знаків, він властивий

тільки одному ТЗ, і є обов'язковим елементом маркування та індивідуальності кожного ТЗ в експлуатації (зберігається протягом 30 років) [1-6]. Але єдиних світових стандартів для складання ідентифікаційного номера для ТЗ немає.

Кожен виробник формує захисний код довільно, але при експорті транспортної продукції прийнято дотримуватися відповідних стандартів. За основу взято стандарти Міжнародної організації стандартів ISO, які діють у багатьох країнах світу. Стандарт ISO 3779 (ISO 3780, який доповнює його), є глобальним та визнаний майже у всіх країнах світу, які мають автомобільну промисловість, або офіційний імпорт транспорту. В Україні діє Державний стандарт України ДСТУ 3525-97 Засоби транспортні дорожні. Маркування, вимоги якого гармонізовано з вимогами міжнародного стандарту ISO 3780:2009, який є частково відповідником цього міжнародного стандарту.

Розшифровування VIN-коду можливо проводити і вручну, або використовуючи VIN-декодер – спеціальну програму, чи використовувати послуги сервісів, запропоновані в Інтернеті [1-6], за допомогою гаджетів та тестових систем з бездротовим пристроєм зв'язку на борту ТЗ, які отримують необхідну інформацію з допомогою систем моніторингу технічного стану ТЗ через OBD-сканер (ТЗ після 2004 року випуску). VIN-код містить основну інформацію про виробника ТЗ, особливості ТЗ та рік його виготовлення. Тому VIN є простим та надійним способом ідентифікації ТЗ та захисті його від угону [1-3]. Опис процесу ідентифікації ТЗ, розшифровування VIN-коду ТЗ описані в [1-5]. На (рис.1.) продемонстровано алгоритм ідентифікації ТЗ в межах ІПК засобами ITS. Для забезпечення дії розробленого алгоритму, (блок 1) це початок роботи де потрібно в блоці 2 встановити (запустити) програми діагностування та ідентифікації ТЗ, бортове обладнання забезпечить моніторинг і діагностування стану ТЗ. Потім в блоці 3 проводиться встановлення (вибір) параметрів моніторингу та діагностування технічного стану ТЗ. На наступному кроці, в блоці 4, відбувається встановлення діагностичного устаткування в ТЗ. Для з'єднання ТЗ і діагностичного обладнання необхідно сполучити діагностичне обладнання чи засіб моніторингу з роз'ємом OBD ТЗ [1-6]. Використовуючи перехідник, здійснюється під'єднання через клеми 7 і 15 або 2 і 10 діагностичного рознімання до блоку управління (приготування паливної суміші та запалення) ТЗ. Деякі автовиробники виводять на ці клеми також дроти K і L інших блоків управління. Автовиробник може розташувати дроти K і L інших блоків управління (наприклад, системи АБС, коробки передач, подушки безпеки тощо.), на свій розсуд (наприклад, вивести їх на клеми 1, 8, 9, 13). Кінці перехідникової коробки вставляються у гнізда, в які вставляються роз'єми універсального кабелю. Клеми 3, 11 і 12 також не задіяні при діагностиці автомобіля. На цих клемах робочий контур OBD II-DV визначає шину автомобіля (шина є проводкою, до неї можуть підключатися різні блоки керування). Діагностичні роз'єми можуть бути встановлені на автомобілях, не обладнаних блоками управління з можливістю діагностування. Наявність діагностичного рознімання на автомобілі, таким чином, не може гарантувати можливості діагностування ТЗ, використовуючи спеціальне програмне забезпечення.

На цьому ж етапі дії алгоритму, у блоці 4, відбувається забезпечення зв'язку між блоком керування ТЗ і діагностичним (скануючим пристроєм) у відповідності до стандарту ISO 9141-2. Цей стандарт, який узгоджується з американським стандартом OBD II, закріплює правила здійснення зв'язку між блоками управління автомобіля і діагностичним устаткуванням. Стандартом ISO 9141-2 визначено порядок здійснення контролю, перевірки, налаштування систем автомобіля з можливістю самодіагностики. Стандарт ISO 9141-2 відрізняється тільки способом здійснення зв'язку.

В стандарті OBD II також встановлений порядок здійснення зв'язку за стандартом ISO 9141-2 як альтернатива стандарту SAE J 1850. Тим часом, також допускається до застосування стандарт KWP 2000 (ISO 14 230-4). Для стандартів OBD II і EOBD в даний час діють наступні способи передачі інформації: за стандартом ISO 9141-2 [1-6]: застосовується європейськими автовиробниками; з низькою швидкістю; за стандартом ISO 14 230-4 (KWP 2000): застосовується європейськими автовиробниками; можливо з високою і низькою швидкістю; за стан-

дартом SAE J 1850 (американські автовиробники); за стандартом ISO/DIS 15 765-4: діагностування бортового контролера зв'язку CAN та систем випуску відпрацьованих газів. У блоці 5 відбувається ідентифікація (ініціалізація) діагностичного устаткування ТЗ в блоці моніторингу і діагностування в ІПК через лінії зв'язку. При діагностиці блоків управління використовуються різні варіанти ідентифікації (ініціалізації) діагностичного устаткування. Вони описані у відповідних стандартах. Ініціалізація здійснюється через діагностичне устаткування, наприклад через 5-ти бодовий генератор адресації (стандарт ISO 9141-2). Ініціалізація між діагностичним приладом та блоком управління систем, пов'язаних з утворенням відпрацьованих газів (запалення, сумішоутворення), здійснюється через передачу адреси 33H (де H-гексадецимальна система) із швидкістю 5 біт/с. Потім діагностичний прилад отримує від блоку підтвердження на ініціалізацію, він складається з зразка синхронізації за швидкістю бод і двох ключових слів [1-6]. Комітет зі стандартизації автомобілів FAKRA надає автовиробникам і виробникам комплектуючих кодові слова, вони завжди передаються парами. Для забезпечення надійного зв'язку між блоком управління і перевірочним приладом використовуються логічні стани "0" і "1" як для передачі від перевірочного устаткування до блоку управління, та від блоку управління до перевірочного приладу [1-6]. У пов'язаних системах, наприклад, в системах запалювання та сумішоутворення, проводи з позначкою К і L поєднані між собою. Розрізняють системи, в яких здійснюється: унідирекціональна передача даних (тільки в одному напрямі) по К або L проводах; бідирекціональна передача даних (у обох напрямах) по К-проводу.

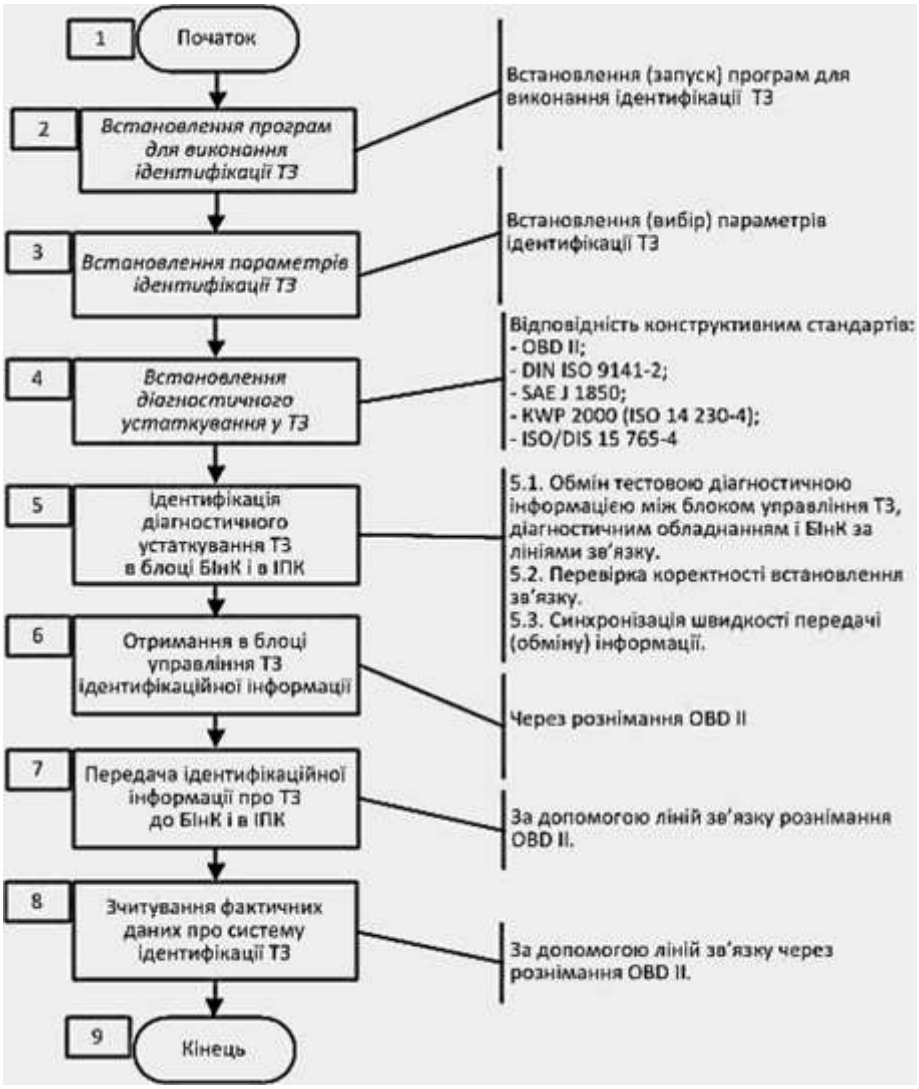



Рисунок 1 - Алгоритм ідентифікації ТЗ в межах ІПК засобами ITS

Після сигналу ініціалізації не допускаються збоїв, в обміні даними між системами, за це несе відповідальність виробник ТЗ [1-6]. При виконанні робіт у блоках 4 - 5 потрібно виходити з того, що описаний у стандарті ISO 15 031-4 діагностичний прилад повинен автоматично розпізнавати тип обміну інформацією з системою управління двигуном, яка перевіряється. Діагностичний прилад повинен: відобразити оригінальний визначений VIN-код ТЗ або ідентифікаційний номер ТЗ, відобразити додаткову інформацію про ТЗ в процесі його дистанційної ідентифікації. В блоці 6 - відбувається зчитування через рознімання OBD II ідентифікаційної інформації про ТЗ з бортового блоку керування ТЗ, який задіяний у моніторингу технічного стану ТЗ. В блоці 7 - відбувається передача отриманої ідентифікаційної інформації про ТЗ, до БІнК і в ІПК за допомогою ліній зв'язку (рис. 1) ТЗ (системи моніторингу) через рознімання OBD II, що задіяний у моніторингу технічного стану ТЗ. В блоці 8 - відбувається зчитування отриманих фактичних технічних даних про систему ідентифікації ТЗ за допомогою ліній зв'язку системи моніторингу (рис. 1) ТЗ через рознімання OBD II ТЗ.

Результати процесу дистанційної ідентифікації ТЗ в умовах ITS, можливо переглянути з допомогою системного програмного модуля carlife (https://carlife.in.ua/ua) і програмного модулю Torque та ІПК. Результати моніторингу параметрів ТЗ в умовах експлуатації показані на (рис. 2). Фрагмент звіту результатів проведених вимірювань у вигляді мапи руху ТЗ від бортової системи моніторингу ТЗ і системи моніторингу температурних параметрів двигуна ТЗ показано на (рис. 2.), де наведено: результати отримання інформації, положення (координати) ТЗ в умовах експлуатації та вимірювання основних параметрів експлуатації ТЗ з використанням системи дистанційного моніторингу (42 технічних параметри дослідного ТЗ).

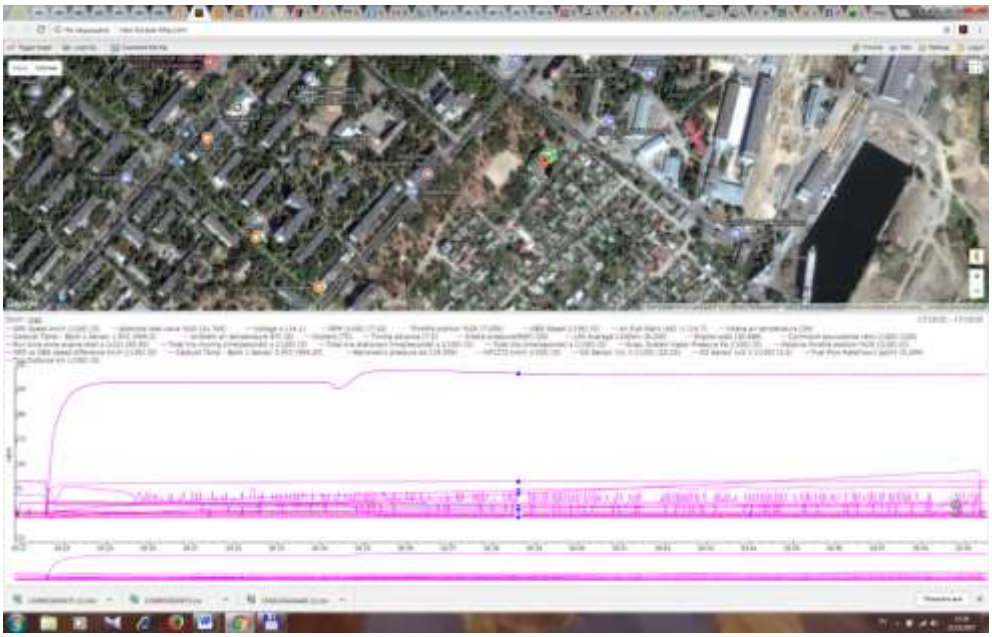


Рисунок 2 – Фрагмент звіту результатів проведених вимірювань технічних параметрів ТЗ у вигляді мапи руху

**Висновок.** В роботі роз'яснено роботу інформаційної моделі інформаційно програмного комплексу (ІПК), який використовується для отримання даних про транспортний засіб в процесі його ідентифікації. Продемонстровано алгоритм ідентифікації транспортного засобу в межах ІПК засобами інтелектуальних транспортних систем (Intelligent Transport Systems), та розкрито умови роботи та покрокові дії даного алгоритму під час ідентифікації транспортного засобу. Що й було покладено в основу створення, реалізації та формування в практичній діяльності алгоритму процесу ідентифікації транспортного засобу в межах інформаційно програмного комплексу засобами Тобто, створюється можливість реалізовувати та сформувати в практичній діяльності алгоритм ідентифікації ТЗ в межах інформаційно програмного комплексу засобами ITS.

**Список використаних джерел**

1. Грицук І. В. Концепція забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів в умовах експлуатації : дис. докт. техн. наук : 05.22.20/ ХНАДУ. Харків, 2016. 552 с.

2. Погорлецький Д.С. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників переобладнаних для роботи на газовому паливі транспортних засобів. Автореф. дис. канд.техн. наук за спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / Д.С.Погорлецький – Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, 2021. - С. 20.

3. В.П. Волков. Удосконалення методів та засобів моніторингу працездатності автомобілів / В.П. Волков, П.Б. Комов, І.В. Грицук, [та ін.] // Вісник НТУ ХПІ. - 2014. - с. 93-97. – (Серія: Автомобіле та тракторобудування)

4. Грицук І.В, Худяков І.В, Погорлецкий Д.С, Агєєв М.С. Розробка моделі бази даних інформаційної системи моніторингу транспортного засобу. Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців: наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф., 27–29 жовт. 2021 р./Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т.–Харків, 2021.–С. 96–99.

5. Gritsuk, I., Pohorletskyi, D., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., “Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems),” SAE Technical Paper 2020-01-2031, 2020, https://doi.org/10.4271/2020-01-2031.

6. Грицук І.В. Особливості моніторінгу і визначення статусу несправностей транспортного засобу у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу / Грицук І.В., Комов А.П., Волков Ю.В. // Вісник Національного транспортного університету – К.: НТУ, 2014. – Випуск №30. – С. 51 – 62.

***Погорлецький Дмитро Сергійович*** – к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, e-mail: dimon150582 @gmail.com.

***Грицук Ігор Валерійович*** – д.т.н., професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка», e-mail: gritsuk_iv@ukr.net.

***Кальченко Володимир Віталійович*** – д.т.н. Проректор з науково-педагогічної роботи, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування. Національний університет «Чернігівська політехніка», e-mail: v.kalchenko@stu.cn.u.

***Худяков Ігор Валентинович*** – к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, e-mail: Igor.khudiakov563@gmail.com

***Dmytro Pohorletskyi*** – Ph.D., Associate Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy, e-mail: dimon150582@gmail.com.

***Igor Gritsuk*** – Dr.Sc. (Eng.), Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering. National University "Chernihiv Polytechnic", e-mail: gritsuk_iv @ukr.net.

***Volodymyr Kalchenko*** – Dr.Sc. (Eng.), Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work, Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering. National University "Chernihiv Polytechnic", e-mail: v.kalchenko@stu.cn.u.

***Igor Khudyakov*** – Ph.D., Associate Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy, e-mail: Igor.khudiakov563@gmail.com

УДК 656.078

**Поляков А.П., Кляшторний О.О.**

# ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Розглянуто особливості функціонування системи технічного обслуговування і ремонту спеціальних машин військового призначення з урахуванням терміну перебування їх в експлуатації. Доведено система технічного обслуговування і ремонту для кожного зразка автомобільної техніки не може бути незмінною, а повинна корегуватись залежно від напрацювання і терміну перебування її в експлуатації. Обґрунтовано, що дослідження впливу напрацювання зразка автомобільної техніки з початку експлуатації, термін перебування зразка автомобільної техніки в експлуатації, параметр потоку відмов, імовірність безвідмовної роботи зразка автомобільної техніки, сумарні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт на функціонування підсистеми „Періодичність проведення та обсяги робіт технічного обслуговування спеціальних машин військового призначення” дає змогу здійснювати керування ефективністю функціонування всією системою технічного обслуговування і ремонту автомобільної техніки.*

***Ключові слова:*** *напрацювання з початку експлуатації, термін перебування в експлуатації, параметр потоку відмов, імовірність безвідмовної роботи, сумарні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт.*

*The features of the functioning of the maintenance and repair system of special military vehicles are considered, taking into account the period of their operation. It is proved that the maintenance and repair system for each model of automotive equipment cannot be unchanged, but must be adjusted depending on the operating time and the period of its operation. It is substantiated that the study of the impact of the operating time of a sample of automotive equipment since the beginning of operation, the period of time the sample of automotive equipment was in operation, the failure rate parameter, the probability of failure-free operation of a sample of automotive equipment, the total costs of maintenance and current repairs on the functioning of the subsystem "Periodicality and volume of maintenance work of special military vehicles" makes it possible to manage the efficiency of the functioning of the entire system of maintenance and repair of automotive equipment.*

***Keywords****: operating hours since the start of operation, period of operation, failure rate parameter, probability of failure-free operation, total costs for maintenance and current repairs.*

**Вступ.** Спроможність системи технічного обслуговування і ремонту спеціальних машин військового призначення зводиться до забезпечення їх боєготовності. Автомобільна техника вважається боєготовою якщо має необхідний запас ресурсу, приведена у вихідний стан, що встановлений експлуатаційною документацією і підготовлена до виконання поставлених бойових завдань за призначенням.

В умовах сучасних високо маневрених бойових дій і наявності у супротивника могутніх засобів поразки, відновлення боєздатності автомобільної техніки в найкоротші терміни або підтримку її на певному рівні залежатиме від чіткої організації і своєчасного виконання такого елементу технічного забезпечення, як своєчасне відновлення спеціальних машин військового призначення в бойових порядках військ.

Практично єдиним джерелом поповнення автомобільної техніки, що втратили боєздатність в ході бойових дій, є своєчасне відновлення системою рухомих ремонтних підрозділів, тобто їх військовий ремонт.

**Результати дослідження.** Аналіз проведених досліджень показав, що система технічного обслуговування і ремонту для кожного зразка автомобільної техніки не може бути незмінною, а повинна корегуватись залежно від напрацювання і терміну перебування її в експлуатації. Це обумовлено тим, що із збільшенням напрацювання і терміну перебування автомобільної техніки в експлуатації збільшується кількість відмов у роботі їх систем, вузлів і агрегатів та час на виконання робіт ТО за рахунок часу на усунення виявлених відмов.

Практикою встановлено, що при проведенні технічного обслуговування в умовах бойової підготовки військ при ТО-1 виконуються роботи з усунення відмов у середньому обсягом на 50% від нормативного часу, необхідного для виконання робіт ТО-1, а при ТО-2 в середньому обсягом 100% від нормативного часу, необхідного на проведення ТО-2.

Таким чином, загальний час на виконання робіт номерного технічного обслуговування складе від нормативного: для ТО-1 – 1,62, для ТО-2 – 2,15.

Аналіз статистичних даних відмов у роботі систем, вузлів і агрегатів спеціальних машин військового призначення і проведені розрахунки показали, що час, необхідний для проведення робіт технічного обслуговування, збільшується із збільшенням терміну перебування автомобільної техніки в експлуатації, відповідно збільшується час їх простою на технічному обслуговуванні.

Таким чином, тривалість простою зразка автомобільної техніки при обслуговуванні обумовлена такими обставинами: часом, який необхідний для виконання операцій технічного обслуговування; кількістю цих операцій; витратами часу на усунення відмов.

Перший різновид робіт відносно стабільний впродовж всього часу перебування автомобільної техніки в експлуатації, а другий і третій суттєво змінюються із збільшенням напрацювання і терміну експлуатації.

Проведений аналіз існуючих методик визначення періодичності проведення й обсягів робіт технічного обслуговування показав, що вони в цілому забезпечують підтримання заданого рівня бойових і експлуатаційних характеристик спеціальних машин військового призначення протягом міжремонтного ресурсу, але не повною мірою враховують вплив на технічний стан автомобільної техніки напрацювання і терміну перебування її в експлуатації і надійності окремих вузлів і агрегатів.

Різноманітність і стохастичний характер впливу експлуатаційних факторів на технічний стан автомобільної техніки призводить до того, що при одному і тому самому напрацюванні, але різному терміну перебування її в експлуатації, вони мають різний фактичний технічний стан. Тому існуючі методики визначення періодичності технічного обслуговування потребують удосконалення, метою якого є зменшення необґрунтованих замін окремих елементів, вузлів і агрегатів під час проведення технічного обслуговування.

При експлуатації спеціальних машин військового призначення, з метою визначення їх фактичного технічного стану, контролюється велика кількість параметрів систем, вузлів і агрегатів. Ці параметри контролюються під час проведення технічного обслуговування.

Так, для автомобільної техніки на базі КрАЗ-6322 на проведення контрольно-перевірочних робіт при обслуговуванні в середньому витрачається 60–70% часу від загального, який визначений для проведення технічного обслуговування. Деякі перевірочні операції виконуються із застосуванням вбудованого діагностичного обладнання, інші носять ручний характер, що не повною мірою забезпечує встановлення істинного технічного стану системи чи агрегату, який перевіряється. Це може стати причиною виникнення відмов в період використання автомобільної техніки за призначенням.

У загальному вигляді контрольно-перевірочні роботи можна зарахувати до технічного обслуговування систем, вузлів і агрегатів за станом. Це обумовлено тим, що після перевірки одного із параметрів систем, вузлів чи агрегатів, якщо буде виявлена його невідповідність встановленим нормативним даним, проводиться відновлення параметрів.

Для виконання деяких з робіт, пов’язаних з відновленням початкових параметрів (дозаправка, змащування, регулювання), у нормативно-технічній документації визначений термін їх проведення, це дає змогу спланувати виконання робіт у відведений час. Для іншої групи

параметрів час відновлення встановити неможливо, тому що він буде витрачений на пошук несправності та її усунення.

Одним із напрямків зменшення часу на проведення технічного обслуговування й успішного вирішення питань забезпечення надійності систем, вузлів і агрегатів спеціальних машин військового призначення є подальше удосконалення методики контролю їх технічного стану. Це дозволить зробити впровадження автоматизації контролю технічного стану (наприклад, сигналізатор температури охолоджуючої рідини КрАЗ-6322, сигналізатор опору касетного повітроочисника і тощо).

Відомо, що незалежно від характеру використання спеціальних машин військового призначення із збільшенням часу перебування їх у військах в деталях вузлів і агрегатів спостерігаються безповоротні процеси погіршення технічного стану елементів і матеріалів через їх старіння, розвиток корозійних процесів, появу утомлювальних напруг і залишкових деформацій. Чим гірші умови експлуатації, тим швидше відбуваються процеси, які негативно впливають на технічний стан автомобільної техніки.

Розроблені обсяги і встановлена періодичність різних видів технічного обслуговування автомобільної техніки враховують в основному умови безперервної її експлуатації протягом нетривалого періоду. Оскільки при довготривалій експлуатації в системах, вузлах і агрегатах автомобільної техніки відбуваються процеси, які пов’язані із зменшенням і втратою працездатності елементів і вузлів, виникає необхідність проведення додаткових робіт щодо підтримання їх у працездатному стані.

Аналіз причин виникнення відмов показав, що збереженість визначається здатністю автомобільної техніки протистояти негативному впливу умов зберігання на безвідмовність і довговічність складових його частин. При тривалому зберіганні автомобільної техніки підтримання їх справності забезпечується проведенням встановлених видів технічних обслуговувань. Але при подальшому використанні спеціальних машин військового призначення за призначенням показники їх безвідмовності значно знижуються, на відміну від аналогічних показників автомобільної техніки, які не перебували на зберіганні.

Досвід експлуатації спеціальних машин військового призначення у військах показує, що час на усунення відмов, які виникли в їх системах, вузлах і агрегатах, перед проведенням технічного обслуговування складає 20–60% від загальних витрат часу на його проведення [91]. У зв’язку з цим фактичний час простою частин і підрозділів на технічному обслуговуванні в 1,5–2 рази перевищує час виконання планових робіт, які визначаються видами технічного обслуговування для кожного зразка інженерної техніки, а для автомобільної техніки, які довгий час перебувають в експлуатації, він буде збільшуватись пропорційно збільшенню терміну перебування її в експлуатації.

Зниження рівня надійності автомобільної техніки у процесі використання її за призначенням знижує рівень її технічної готовності та збільшує експлуатаційні витрати при її експлуатації. На рівень надійності зразка автомобільної техніки в процесі експлуатації впливає багато чинників.

У загальному вигляді надійність зразка автомобільної техніки можна показати у вигляді функції:

$$Y=f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n), \quad (1)$$

де $Y$ – показник надійності;

$x_n$ – чинники, які впливають на надійність зразка автомобільної техніки.

На початку проведення дослідження вибрані такі чинники:

незалежні (як вхідні параметри $x_i$) – $x_1(S_{екс})$ – напрацювання зразка автомобільної техніки з початку експлуатації; $x_2(T_{екс})$ – термін перебування зразка автомобільної техніки в експлуатації;

залежні (як вихідні параметри $Y_i$) – $Y_1(\omega)$ – параметр потоку відмов; $Y_2(P)$ – імовірність безвідмовної роботи зразка автомобільної техніки; $Y_3(C)$ – сумарні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт.

У загальному вигляді завдання визначення залежності імовірності безвідмовної роботи

автомобільної техніки від напрацювання і терміну перебування її в експлуатації можна уявити так.

Періодичність і обсяг робіт технічного обслуговування визначимо як керовану систему. Робота цієї системи характеризується вихідними параметрами $Y_1(\omega)$; $Y_2(P)$; $Y_3(C)$. На цю систему впливають зовнішні збудження, вхідні параметри $x_1(S_{екс})$, $x_2(T_{екс})$.

Для здійснення управління процесом необхідно мати інформацію про вхідні та вихідні параметри, причому вихідні параметри є функціями від вхідних.

**Висновки.** Таким чином, дослідження впливу визначених чинників на функціонування підсистеми „Періодичність проведення та обсяги робіт технічного обслуговування спеціальних машин військового призначення” дає змогу здійснювати керування ефективністю функціонування всією системою технічного обслуговування і ремонту автомобільної техніки.

**Список використаних джерел**

1. Сисоєв О.О. Проблеми, тенденції і перспективи розвитку систем технічного забезпечення військ (сил) у війнах і збройних конфліктах кінця XX і початку XXI століття. // О.О.Сисоєв / – Київ. НАО. 2004. – 39с.

2. Антонюк О.П. Обґрунтування вихідних принципів розробки методу формування номенклатури та кількості запасних частин / А.П. Антонюк, А. М. Баранов, С.С. Коробов, Б.С. Мар’янко. // Вісник ЖДТУ. – 2014. – №2 (69). – С. 10–14.

3. Кривцун В. І. Аналіз досліджень по визначенню номенклатури та кількості запасних частин для технічного обслуговування і ремонту машин інженерного озброєння / В.І.Кривцун, А.М.Баранов. // Збірник наукових праць ВІ КНУ. – 2016. – №51. С. 64–72.

***Поляков Андрій Павлович*** – д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: farv@vntu.edu.ua

***Кляшторний Олександр Олександрович*** – студент, навчальна група 1АТ-24мс, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: farv@gmail.com

***Polakov Andriy*** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: farv@vntu.edu.ua

***Klyashtorny Oleksandr Oleksandrovych*** – student, study group 1AT-24ms, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: farv@gmail.com

УДК 658.3

**Порфіренко В.І., Кумпан А.С.**

# АДМІНІСТРАТИВНИЙ ТА КОМУНІКАЦІЙНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ В ПІДПРИЄМНИЦЬКІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

*Адміністративний менеджмент забезпечує структурованість, регламентованість і контроль управлінських процесів, тоді як комунікаційний менеджмент сприяє узгодженню інтересів, обміну інформацією та залученню персоналу до прийняття рішень. Їх поєднання створює передумови для підвищення гнучкості управління та ефективності підприємницької діяльності.*

***Ключові слова:*** *адміністративний менеджмент, комунікаційний менеджмент, підприємницька діяльність, управлінські рішення, цифровізація, управління підприємством, організаційна структура, комунікації, прийняття рішень, ефективність управління, зворотний зв'язок, децентралізація.*

*Administrative management provides structure, regulation and control of management processes, while communication management promotes coordination of interests, exchange of information and involvement of personnel in decision-making. Their combination creates the prerequisites for increasing the flexibility of management and the efficiency of entrepreneurial activity.*

***Keywords:*** *administrative management, communication management, entrepreneurial activity, management decisions, digitalization, enterprise management, organizational structure, communications, decision-making, management efficiency, feedback, decentralization.*

Адміністративний менеджмент традиційно розглядається як основа системи управління підприємством, що забезпечує впорядкованість управлінських процесів, розподіл функцій і відповідальності, а також контроль за досягненням поставлених цілей. Його теоретичні засади були сформовані в межах класичної школи управління, зокрема у працях Анрі Файоля, який виокремив основні функції управління: планування, організацію, розпорядництво, координацію та контроль.

Застосування адміністративного підходу дозволяє:

- забезпечити чітку ієрархію управління;
- стандартизувати управлінські процедури;
- підвищити контроль за виконанням рішень;
- зменшити хаотичність управлінських дій.

Разом з тим, у сучасних умовах жорстка формалізація та централізація можуть обмежувати адаптивність підприємства. Надмірна регламентація процесів і низький рівень участі персоналу в ухваленні рішень часто призводять до зниження мотивації працівників і уповільнення реакції на зміни зовнішнього середовища.

Комунікаційний менеджмент виник як відповідь на обмеження адміністративних підходів. У сучасній теорії управління комунікація розглядається не лише як обмін інформацією, а як ключовий механізм узгодження рішень і координації діяльності.

Ефективні комунікації забезпечують:

- врахування різних точок зору;
- зменшення інформаційної асиметрії;
- формування довіри в колективі;
- підвищення якості управлінських рішень.

Комунікаційний менеджмент охоплює як внутрішні процеси (взаємодія між керівництвом і працівниками, між підрозділами), так і зовнішні (зв'язки з клієнтами, партнерами,

стейкхолдерами).

Сучасні наукові підходи підкреслюють, що управлінське рішення є результатом не лише аналітичної роботи, а й ефективної взаємодії між учасниками управління. Таким чином, комунікація стає невід'ємною складовою процесу прийняття рішень.

У сучасних умовах найбільш ефективним є інтегрований підхід, що поєднує адміністративну структурованість із комунікаційною гнучкістю. Адміністративний менеджмент забезпечує чіткість процедур і контроль, тоді як комунікаційний — адаптивність і залучення персоналу.




Рисунок 1 – Інтеграція адміністративного та комунікаційного менеджменту

Взаємодія цих підходів проявляється насамперед у процесі прийняття управлінських рішень. Адміністративна складова визначає формальні етапи ухвалення рішень, встановлює відповідальність та забезпечує контроль за їх виконанням. Водночас комунікаційна складова сприяє залученню персоналу, обговоренню альтернатив і формуванню узгоджених управлінських дій. Саме поєднання цих елементів дозволяє підвищити якість рішень та їх практичну реалізованість.

Важливим аспектом взаємодії є баланс між централізацією та децентралізацією управління. Адміністративний менеджмент традиційно орієнтується на централізоване прийняття рішень, тоді як комунікаційний підхід передбачає делегування повноважень і активну участь працівників. Оптимальне поєднання цих підходів дозволяє підприємствам одночасно зберігати контроль і підвищувати оперативність реагування на зміни зовнішнього середовища.

Крім того, взаємодія адміністративного та комунікаційного менеджменту сприяє формуванню ефективної організаційної культури. Чіткі регламенти і правила, притаманні адміністративному підходу, доповнюються відкритістю комунікацій, довірою та залученістю персоналу. Це, у свою чергу, підвищує мотивацію працівників і рівень їх відповідальності за результати діяльності підприємства.

Особливу роль у забезпеченні такої взаємодії відіграє зворотний зв'язок, який дозволяє оцінювати ефективність управлінських рішень і своєчасно вносити корективи. Завдяки цьому управління набуває циклічного характеру, де кожне рішення є основою для подальшого вдосконалення діяльності.

Отже, інтеграція адміністративного та комунікаційного менеджменту забезпечує поєднання формалізованих процедур із гнучкими механізмами взаємодії, що є необхідною умовою підвищення ефективності підприємницької діяльності в умовах динамічного середовища.

У сучасному менеджменті можна виділити кілька ключових тенденцій:

1. Децентралізація управління — передача повноважень на нижчі рівні, що підвищує оперативність і гнучкість.
2. Командні форми прийняття рішень — колективне обговорення дозволяє враховувати різні точки зору.

3. Орієнтація на дані — використання аналітичних систем для обґрунтування рішень.
4. Інтеграція підходів — поєднання адміністративних і комунікаційних механізмів.
5. Посилення ролі зворотного зв'язку — постійний моніторинг і коригування рішень.

Ці тенденції свідчать про перехід від жорстких адміністративних моделей до більш гнучких і адаптивних систем управління.

Додатково важливим напрямом практичної реалізації інтегрованого підходу є розвиток систем навчання та підвищення кваліфікації персоналу. У сучасних умовах працівники повинні володіти не лише професійними знаннями, а й комунікаційними навичками, здатністю працювати в команді та брати участь у процесах прийняття рішень. Формування таких компетенцій сприяє більш ефективній взаємодії між адміністративними структурами та комунікаційними процесами, що в кінцевому підсумку підвищує результативність діяльності підприємства.

Не менш важливим аспектом є впровадження гнучких організаційних форм управління, зокрема використання проєктних і матричних структур. Такі підходи дозволяють поєднувати чіткий адміністративний контроль із розвиненими горизонтальними комунікаціями, що сприяє швидшому обміну інформацією та більш ефективному вирішенню управлінських завдань. У результаті підприємства отримують можливість оперативно реагувати на зміни ринку, зберігаючи при цьому керованість і стабільність внутрішніх процесів.

**Список використаних джерел**

1. Чередніченко В. М. Комунікативний менеджмент у стратегії розвитку підприємства // Економіка та суспільство. — 2022. — № 42. URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1688
2. Шегда А. В. Менеджмент : навчальний посібник. — Київ : Знання, 2018. — 384 с. URL: https://pidru4niki.com/manager/menedzhment_shegda
3. Андріяш В.І. Адміністративний менеджмент в Україні: підручник. Миколаїв: Чорноморський національний університет ім. Петра Могили. 2021. – 153-250 с. URL: https://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/21752
4. Савченко В. А. Управління розвитком персоналу: навчальний посібник. – Київ: КНЕУ, 2020. – 351 с. URL: https://kneu.edu.ua
5. Кузьмін О. Є., Мельник О. Г. Менеджмент: навчальний посібник. – Львів: Львівська політехніка, 2021. – 240 с. URL: https://lpnu.ua/sites/default/files/2021/menedzhment_kuzmin.pdf
6. Балабанова Л. В., Сардак О. В. Управління персоналом: підручник. – Київ: Центр учбової літератури, 2020. – 468 с. URL: https://pidru4niki.com/15840720/menedzhment/upravlinnya_personalom

***Порфіренко Володимир Іванович*** – кандидат економічних наук, доцент,Національний транспортний університет, доцент кафедри менеджменту (01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 242, e-mail: porfirenko@gmail.com )

***Кумпан Анна Сергіївна*** – бакалавр, студентка Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 242., e-mail: anakumpan87@gmail.com)

***Volodymyr Ivanovich Porfirenko*** – candidate of economic sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of the Department of Management (01010, Kyiv, Mykhayla Omelyanovicha-Pavlenko St., 1, room 242, e-mail: porfirenko@gmail.com )

***Anna Sergiyevna Kumpan*** – bachelor, student of the National Transport University, (01010, Kyiv, Mykhayla Omelyanovicha-Pavlenko St., 1, room 242., e-mail: anakumpan87@gmail.com)

УДК 629.331

**Порфіренко В.І., Луговцов А.С.**

# ЕКОНОМІЧНІ МЕЖІ РЕНТАБЕЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У ПІДПРИЄМНИЦЬКІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

*У роботі досліджено економічну доцільність використання електромобілів у підприємницькій діяльності. Визначено ключові фактори, що впливають на рентабельність електротранспорту, зокрема початкові інвестиції, експлуатаційні витрати та умови використання. Обґрунтовано доцільність застосування точки беззбитковості як інструменту прийняття управлінських рішень. Окрему увагу приділено сучасним технологіям, що сприяють підвищенню ефективності електромобілів.*

***Ключові слова:*** *електромобілі, економічна ефективність, рентабельність, точка беззбитковості, експлуатаційні витрати, транспортні системи, зарядна інфраструктура.*

*The thesis examines the economic feasibility of using electric vehicles in business activities. The key factors influencing the profitability of electric transport are identified, including initial investments, operating costs, and conditions of use. The applicability of the break-even point as a tool for managerial decision-making is substantiated. Particular attention is paid to modern technologies that contribute to improving the efficiency of electric vehicles.*

***Keywords:*** *electric vehicles, economic efficiency, profitability, break-even point, operating costs, transport systems, charging infrastructure.*

У сучасних умовах розвитку економіки та загострення екологічних проблем питання переходу на електричний транспорт набуває особливої актуальності. Використання транспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) супроводжується значними викидами шкідливих речовин, зокрема $CO_2$ , $NO_x$ та дрібнодисперсних частинок, що негативно впливають на навколишнє середовище та здоров'я населення. За оцінками міжнародних організацій, транспортний сектор формує значну частку загальних викидів парникових газів, що робить перехід на електромобілі фактично безальтернативним у довгостроковій перспективі.

Поряд із цим, у сучасному науковому та публічному дискурсі існують дискусії щодо реальної екологічності електромобілів. У низці публікацій зазначається, що електромобілі не є повністю «чистими» з урахуванням усього життєвого циклу, зокрема через значні викиди, пов'язані з виробництвом акумуляторів [1–2]. Як зазначалося вище, процес виготовлення акумуляторів електромобілів також є значним джерелом забруднення довкілля. Так, за даними дослідження, наведеного в матеріалах IONITY, близько 46% загальних викидів $CO_2$ електромобіля припадає на етап виробництва, тоді як для автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння цей показник становить приблизно 26% [3].

Таким чином, формуються так звані «початкові вуглецеві витрати» або «вуглецевий борг» електромобіля. Для його компенсації транспортний засіб повинен перебувати в експлуатації тривалий час, поступово зменшуючи сумарні викиди за рахунок відсутності їх під час руху. Зокрема, для середньостатистичного електромобіля це може становити кілька років експлуатації, що підкреслює важливість довготривалого використання електротранспорту для реалізації його екологічних переваг.

Електромобілі мають низку суттєвих переваг порівняно з традиційними транспортними засобами [4]. Передусім це відсутність шкідливих викидів під час експлуатації, нижчі витрати на енергоносії та обслуговування, а також вищий коефіцієнт корисної дії електродвигуна. Крім того, електротранспорт характеризується меншою кількістю рухомих частин, що знижує витрати на технічне обслуговування та ремонт. У підприємницькій діяльності це створює потенціал для зменшення операційних витрат і підвищення ефективності транспортних процесів.

Разом з тим використання електромобілів має і низку суттєвих обмежень, які стримують

їх широке впровадження у бізнесі [4]. Основним недоліком є висока початкова вартість електромобілів порівняно з аналогами з ДВЗ. Також важливим фактором є обмежений запас ходу, що робить неможливим використання електромобілів для міжнародних перевезень та ускладнює їх використання у міжміських перевезеннях. Однак слід зазначити, що електромобілі можуть використовуватися у міжміському сполученні, проте це потребує розвиненої зарядної інфраструктури та ретельного планування маршрутів.

Додатковою проблемою є тривалість заряджання. Повільна зарядка може тривати кілька годин, що є критичним для комерційного використання, особливо у сфері таксі або пасажирських перевезень. Швидка зарядка значно скорочує цей час, але є дорожчою, що впливає на собівартість перевезень. Таким чином, у певних умовах вартість пробігу електромобіля може бути порівнянною або навіть вищою за витрати на використання автомобілів із ДВЗ.

Серед інших обмежень слід виділити деградацію акумуляторів, необхідність їх заміни, обмежену кількість зарядних станцій у деяких регіонах, а також залежність від вартості електроенергії. Усе це формує економічні межі доцільності використання електромобілів у підприємницькій діяльності.

Слід зазначити, що дослідження економічної доцільності використання електромобілів активно ведеться і на сучасному етапі розвитку транспортної галузі. У сучасних наукових роботах автори аналізують різні аспекти ефективності електротранспорту як у повсякденному використанні, так і в підприємницькій діяльності. Водночас значна частина досліджень зосереджується на загальній вартості володіння (ТСО), яскравими прикладами є роботи [5-10], тоді як питання визначення чітких економічних меж доцільності використання електромобілів залишається недостатньо розробленим.

У цьому контексті особливого значення набуває врахування точки беззбитковості використання електромобілів, яка дозволяє визначити мінімальний рівень пробігу або обсяг перевезень, за якого їх використання стає економічно вигідним порівняно з аналогами з ДВЗ (двигунами внутрішнього згоряння). Саме цей показник є ключовим для підприємців, оскільки дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо доцільності інвестування в електротранспорт. Водночас кількість досліджень, присвячених безпосередньо визначенню точки беззбитковості у підприємницькій діяльності, залишається обмеженою, що зумовлює актуальність подальших наукових розробок у цьому напрямі.

Подальший розвиток технологій спрямований на усунення основних недоліків електромобілів, зокрема тривалості заряджання та обмеженого запасу ходу. Одним із перспективних рішень є модульний принцип побудови акумуляторів, за якого батарея складається з уніфікованих змінних модулів. Їх кількість може варіюватися залежно від типу транспортного засобу: від одного-двох модулів для легкових авто до 4 - 7 модулів для вантажного транспорту або електробусів. Дослідження доцільності використання модульного принципу акумуляторних батарей проведені авторами робіт [11, 12].

Практичне значення такого підходу для бізнесу полягає в тому, що він дозволяє зменшити простої транспорту, зробити більш гнучким підбір батарейної конфігурації під конкретний маршрут і поступово формувати мережу сервісних станцій, де модулі не лише змінюються, а й діагностуються, ремонтуються та заряджаються в оптимальному режимі. У статті [12] автори також наголошують на доцільності миттєвої діагностики стану модуля та на ідеї окремої інфраструктури, де батареї можна заряджати переважно у звичайному, а не форсованому режимі, зокрема вночі, коли електроенергія дешевша. Саме це може бути особливо важливим для комерційного транспорту, де вартість простою часто не менш значуща, ніж власне вартість енергії. Додатково інтерес до такого підходу підтверджується і практичними новинами ринку: у 2025 році українські медіа повідомляли про появу в Україні електричного тягача з реалізацією змінної батарейної концепції [13], що свідчить про перехід ідеї з теоретичного рівня у площину реальної комерційної техніки. Це не означає, що модель уже стала масовою, але показує, що для вантажного сегмента батарейна заміна розглядається як серйозний інструмент підвищення операційної придатності електротранспорту.




Рисунок 1 – модульний принцип заміни акумуляторних батарей для різних типів транспортних засобів [12]

Паралельно розвиваються технології надшвидкого заряджання. Зокрема, компанія BYD розробила нову платформу з мегаватною потужністю зарядки, що дозволяє суттєво скоротити час поповнення енергії до кількох хвилин [14]. Нові акумулятори відрізняються від традиційних здатністю працювати при надвисоких струмах заряджання та забезпечують швидке відновлення запасу ходу. Це відкриває можливість використання батарей меншої ємності, що може зменшити масу транспортного засобу та підвищити його економічну ефективність за умови наявності швидкісної зарядної інфраструктури на маршруті.

Таким чином, використання електромобілів у підприємницькій діяльності має як значні переваги, так і суттєві обмеження. Економічні межі рентабельного використання електромобілів визначаються співвідношенням між початковими інвестиціями, експлуатаційними витратами та умовами використання. Наразі найбільш ефективним сценарієм використання електромобілів в підприємницькій діяльності є використання електротранспорту у міських перевезеннях, де забезпечується висока інтенсивність використання та можливість регулярної зарядки. У перспективі розвиток технологій і інфраструктури сприятиме розширенню сфер економічно доцільного застосування електромобілів.

**Список використаних джерел**

1. Електромобілі шкодять екології не менше, ніж авто з ДВЗ: хто сказав? – AUTO.RIA. URL: https://auto.ria.com/uk/news/electric-cars/251670/elektromobili-vredyat-ekologii-ne-menshe-chem-avto-s-dvs-kto-skazal.html (дата звернення: 26.03.2026).
2. Пристрасті по внутрішньому згорянню. URL: https://e-b.com.ua/pristrasti-po-vnutrisnyomu-zgoryannyu-5693 (дата звернення: 26.03.2026).
3. Чи насправді електромобілі такі екологічні, як здаються? – IONITY. URL: https://ionity.ua/chy-naspravdi-elektromobili-taki-ekologichni-yak-zdayutsya/ (дата звернення: 27.03.2026).
4. Електромобілі: які переваги та недоліки – перелік і пояснення. – ZAXID.NET. URL: https://zaxid.net/elektromobil_yaki_perevagi_ta_nedoliki_perelik_poyasnennya_n1592745 (дата звернення: 26.03.2026).
5. Figenbaum E. Retrospective total cost of ownership analysis of battery electric vehicles in Norway // Transportation Research Part D. – 2022. – Vol. 105. – Article 103246. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103246

6. Gil Ribeiro C., Silveira S. The impact of financial incentives on the total cost of ownership of electric light commercial vehicles in EU countries // Transportation Research Part A. – 2024. – Vol. 179. – Article 103936. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103936
7. Bauer J., Letmathe P., Woeste R. Total cost of ownership for battery electric vehicles: the role of energy prices // Applied Energy. – 2025. – Vol. 389. – Article 125764. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125764
8. Taefi T. T. Viability of electric vehicles in combined day and night delivery: a total cost of ownership example in Germany // European Journal of Transport and Infrastructure Research. – 2016. – Vol. 16, No. 4. – P. 600–618. – DOI: https://doi.org/10.18757/ejtir.2016.16.4.3160
9. Miazek P., Zhang L. L. Analysis of the total cost of ownership of electric and combustion engine trucks used in Poland // European Research Studies Journal. – 2025. – Vol. 28, No. 3. – P. 1280–1289. – DOI: 10.35808/ersj/4226.
10. Romeral P. A. A. F., Zancul E. Total cost of ownership of electric vehicles: a synthesis of critical factors // The Journal of Engineering. – 2025. – Article e70113. – DOI: https://doi.org/10.1049/tje2.70113
11. Volodymyr Porfirenko. Standardization of Electric Vehicle Battery Production in International Electric Bus Transportation Based on the Innovative Modular Principle. Standards-Related Regional Innovation and International Cooperation, 2025, 1(1), pages 33- 47. URL: https://doi.org/10.63385/sriic.v1.i1.317, DOI: 10.63385/sriic.v1.i1.317
12. Порфіренко В.І., Кудін Є.Р. Міжнародні перевезення електромобілями: переваги застосування модульного принципу секційного випуску та заміни акумуляторних батарей. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: науковий журнал. Менеджмент. Вип. 116.1. Київ, НТУ. 2024. DOI:10.33744/0365-8171-2024-116.1-294-313
13. В Україну прибув перший електричний тягач: на що здатен такий вантажний автомобіль / І. Рябінін // БЛІК. 2025. 30 квітня. URL: https://blik.ua/automobile/4154-v-ukrayinu-pribuv-pershii-elektrichnii-tyagach-na-sho-zdaten-takii-vantazhnii-avtomobil (дата звернення: 29.03.2026).
14. BYD unveils Super e-Platform with megawatt flash charging for electric vehicles, matching refueling speeds // BYD. 2025. 18 March. URL: https://www.byd.com/mea/news-list/byd-unveils-super-e-platform-with-megawatt-flash-charging (дата звернення: 27.03.2026).

***Порфіренко Володимир Іванович*** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту, Національний транспортний університет (01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 242, e-mail: porfirenko@gmail.com).

***Луговцов Антон Сергійович*** – студент, Національний транспортний університет (01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 242, e-mail: lugovcovanton9@gmail.com)

***Porfirenko Volodymyr Ivanovych*** – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management, National Transport University (1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka St., office 242, Kyiv, 01010, Ukraine, e-mail: porfirenko@gmail.com).

***Luhovtsov Anton Serhiiovych*** – Student, National Transport University (1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka St., office 242, Kyiv, 01010, Ukraine, e-mail: lugovcovanton9@gmail.com).

УДК 629.331:621.313

**Порфіренко В.І., Цуркан І.С.**

# ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТУ ПРИ ПЕРЕХОДІ НА ЕЛЕКТРОМОБІЛІ

*Сучасний розвиток автотранспорту відбувається в умовах посилення екологічних вимог, зростання енергетичних викликів та активного впровадження інноваційних технологій. Транспортна система є однією з базових складових економіки, оскільки забезпечує переміщення товарів, послуг і населення, формуючи основу для розвитку виробництва та торгівлі. Водночас саме транспорт є одним із найбільших джерел забруднення довкілля, що обумовлює необхідність трансформації підходів до його функціонування. У цьому контексті перехід до електромобілів розглядається як один із ключових напрямів модернізації автотранспортної системи.*

***Ключові слова**: автотранспорт, електромобілі, екологія, транспортна система, інноваційні технології, енергетичні виклики, модернізація транспорту.*

*The modern development of road transport is taking place under conditions of increasing environmental requirements, growing energy challenges, and the active implementation of innovative technologies. The transport system is one of the fundamental components of the economy, as it ensures the movement of goods, services, and people, forming the basis for the development of production and trade. At the same time, transport is one of the largest sources of environmental pollution, which necessitates the transformation of approaches to its functioning. In this context, the transition to electric vehicles is considered one of the key directions for the modernization of the road transport system.*

***Key words**: road transport, electric vehicles, environment, transport system, innovative technologies, energy challenges, transport modernization.*

Еволюція розвитку автотранспорту має історично обумовлений характер і відображає загальний рівень технологічного прогресу суспільства. На ранніх етапах транспортні процеси базувалися на використанні фізичної сили, що суттєво обмежувало ефективність економічної діяльності. Подальший розвиток був пов'язаний із використанням механічних пристроїв і парових машин, які стали першими спробами створення самохідного транспорту. Незважаючи на свою інноваційність, такі засоби пересування не змогли забезпечити необхідний рівень ефективності та надійності.

Вирішальним етапом стала поява двигуна внутрішнього згоряння, який забезпечив принципово новий рівень мобільності. Використання рідкого палива дозволило створити компактні та потужні транспортні засоби, що сприяло їх масовому поширенню. У XX столітті автомобілі з ДВЗ стали домінуючим видом транспорту, що забезпечило розвиток дорожньої інфраструктури, урбанізацію та формування глобальної економічної системи. Разом із тим, така модель розвитку створила передумови для виникнення серйозних екологічних проблем.

Зростання кількості автомобілів призвело до значного збільшення обсягів шкідливих викидів у атмосферу. Особливо гостро ця проблема проявляється у великих містах, де концентрація транспортних потоків є максимальною. Забруднення повітря негативно впливає на здоров'я населення, спричиняє зростання захворюваності та погіршує якість життя. Таким чином, транспорт стає не лише економічним, а й соціальним фактором.

Основним недоліком двигунів внутрішнього згоряння є утворення шкідливих викидів у процесі експлуатації. Вуглекислий газ, який утворюється при згорянні палива, є одним із ключових чинників глобального потепління. Його накопичення в атмосфері сприяє зміні клімату, що має довгострокові негативні наслідки для всієї планети. Оксиди азоту та інші токсичні сполуки викликають забруднення повітря, утворення смогу та кислотних дощів.

Чадний газ є небезпечним для людини навіть у невеликих концентраціях, оскільки порушує процеси транспорту кисню в організмі. Тверді частинки, які утворюються внаслідок згоряння палива, проникають у дихальні шляхи та сприяють розвитку захворювань. Таким чином, негативний вплив транспорту з ДВЗ має комплексний характер і охоплює різні аспекти життєдіяльності.

Окрім екологічних проблем, двигуни внутрішнього згоряння мають низьку енергоефективність. Значна частина енергії палива втрачається у вигляді тепла, що знижує ефективність використання ресурсів. Це означає, що для забезпечення однакового рівня руху необхідно витрачати більше енергії, що підвищує витрати та навантаження на довкілля.

Важливим фактором є також залежність від викопних джерел енергії, яка створює економічні ризики. Коливання цін на нафту впливають на вартість перевезень і загальну економічну стабільність. Додатково необхідність регулярного технічного обслуговування та ремонту підвищує витрати на експлуатацію автомобілів.

Електромобілі виступають як альтернатива, що дозволяє зменшити негативний вплив транспорту на довкілля. Вони не створюють шкідливих викидів під час експлуатації, що особливо важливо для міських умов. Високий коефіцієнт корисної дії електродвигуна забезпечує більш ефективне використання енергії, що дозволяє зменшити загальні витрати.

Електромобілі також мають простішу конструкцію, що зменшує кількість можливих поломок і витрати на обслуговування. Відсутність складних механічних вузлів, характерних для ДВЗ, підвищує надійність транспортного засобу. Додатковою перевагою є низький рівень шуму, що позитивно впливає на міське середовище.

Разом із тим, електромобілі мають ряд недоліків, які стримують їх широке впровадження. Основною проблемою є висока вартість акумуляторних батарей, що робить такі автомобілі менш доступними для споживачів. Вартість батареї може становити значну частину загальної ціни автомобіля, що впливає на рішення про покупку.

Ще одним важливим обмеженням є тривалий час заряджання. При використанні стандартних електромереж повна зарядка може тривати кілька годин, що створює незручності у повсякденному використанні. Це особливо актуально для користувачів, які здійснюють тривалі поїздки або не мають можливості заряджати автомобіль у домашніх умовах.

Розвиток швидкісних зарядних станцій дозволяє скоротити час заряджання, однак супроводжується підвищеними витратами. Крім того, часте використання швидкої зарядки може негативно впливати на стан акумуляторів, що зменшує їх ресурс. Таким чином, виникає необхідність балансування між швидкістю та економічною доцільністю.

Порівняння дизельного автомобіля та електромобіля дозволяє більш чітко оцінити їх характеристики. Дизельний автомобіль забезпечує швидку заправку, яка триває кілька хвилин, що робить його зручним для інтенсивного використання. Запас ходу такого автомобіля є стабільним і дозволяє долати великі відстані без додаткових зупинок.

Електромобіль, у свою чергу, потребує значно більше часу для відновлення енергії. При звичайній зарядці цей процес може тривати кілька годин, що обмежує його використання у певних умовах. Швидка зарядка дозволяє скоротити час до 30–60 хвилин, однак є дорожчою та потребує спеціальної інфраструктури.

Водночас електромобілі мають нижчу вартість експлуатації, що пов’язано з дешевшою електроенергією та меншими витратами на обслуговування. Це робить їх економічно вигідними у довгостроковій перспективі, незважаючи на вищу початкову вартість.

Одним із перспективних напрямів розвитку є впровадження модульної системи акумуляторних батарей. Така система передбачає можливість швидкої заміни батареї, що дозволяє суттєво скоротити час обслуговування. У цьому випадку процес користування електромобілем стає більш зручним і наближеним до традиційної заправки.

Модульна система потребує стандартизації батарей, що є складним завданням, однак її реалізація може значно підвищити ефективність використання електротранспорту. Важливим аспектом є створення мережі станцій заміни батарей, що забезпечить доступність цієї послуги.

Додатковою перевагою є можливість розвитку нових бізнес-моделей, зокрема оренди батарей. Це дозволяє знизити початкову вартість автомобіля та зробити електромобілі більш доступними для споживачів. Централізований контроль за станом батарей дозволяє підвищити їх ефективність та забезпечити своєчасне обслуговування.

Перспективи розвитку автотранспорту пов'язані з подальшою електрифікацією та впровадженням інновацій. Розробка нових типів акумуляторів дозволить знизити їх вартість та підвищити ефективність. Вдосконалення систем швидкої зарядки сприятиме скороченню часу обслуговування транспортних засобів.

Розвиток інфраструктури зарядних станцій є ключовим фактором для масового впровадження електромобілів. Важливим напрямом є також створення бездротових систем зарядки, які забезпечать додаткову зручність для користувачів. Інтеграція електромобілів у енергетичні системи дозволить використовувати їх як елементи накопичення енергії.

Додатковим перспективним напрямом є розвиток автономного транспорту, який базується на поєднанні електричних технологій та цифрових систем управління. Це дозволить підвищити ефективність використання транспортних ресурсів і зменшити кількість аварій.

Таким чином, перехід до електромобілів є необхідним етапом розвитку сучасного автотранспорту. Незважаючи на існуючі проблеми, цей процес має значний потенціал і сприятиме формуванню більш екологічної та ефективної транспортної системи. Подальший розвиток технологій, інфраструктури та організаційних рішень дозволить поступово подолати існуючі обмеження та забезпечити сталий розвиток транспортної галузі.

**Список використаних джерел**

1. Бажинов О.В., Смирнов О.П. Електромобілі та їх експлуатація. Київ : Наукова думка, 2020. 256 с.
2. Костенко Д.М., Литвиненко С.О. Альтернативні джерела енергії на транспорті. Харків : ХНАДУ, 2019. 312 с.
3. Романюк В.А. Перспективи розвитку електротранспорту в Україні. Автомобільний транспорт. 2021. № 48. С. 45-52.
4. Іванченко П.С. Екологічні аспекти використання автомобільного транспорту. Вісник транспортних технологій. 2020. № 3. С. 22-27.
5. Chan C.C. The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles. Proceedings of the IEEE. 2017. Vol. 95, № 4. P. 704–718.
6. Ehsani M., Gao Y., Emadi A. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Boca Raton : CRC Press, 2018. 557 p.
7. International Energy Agency. Global EV Outlook 2023. Paris : IEA, 2023.

***Порфіренко Володимир Іванович*** – доцент, кандидат економічних наук, доцент кафедри менеджменту Національного транспортного університету (02000, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, каб. 242, e-mail: porfirenko@gmail.com).

***Цуркан Іван Сергійович*** – студент, студент факультету менеджменту, логістики та туризму Національного транспортного університету (02000, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, e-mail: tsurkanivan9@gmail.com).

***Porfirenko Volodymyr*** – Associate Professor, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Management, National Transport University (02000, Kyiv, 1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka St., office 242, e-mail: porfirenko@gmail.com).

***Tsurkan Ivan*** – Student, Faculty of Management, Logistics and Tourism, National Transport University (02000, Kyiv, 1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka St., e-mail: tsurkanivan9@gmail.com).

УДК 629.331

**Порфіренко В.І., Дробязко А.Р.**

# ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ УКРАЇНСЬКОГО АВТОСЕРВІСУ З УРАХУВАННЯМ СВІТОВОГО ДОСВІДУ

*У роботі проведено комплексне дослідження сучасного стану та структурних трансформацій ринку автосервісних послуг в Україні. Проаналізовано роль сервісних центрів як ключових суб'єктів у ланцюгу продажу транспортних засобів, зокрема в сегменті вживаних автомобілів. На основі статистичних даних 2024–2025 років виявлено значну диспропорцію між продажами нових та вживаних авто, що диктує необхідність адаптації сервісної інфраструктури. Запропоновано шляхи модернізації галузі через впровадження цифрових сервісів, систем прогностичного обслуговування та інтегрованих моделей торгівлі, що базуються на провідному світовому досвіді.*

***Ключові слова:*** *автосервіс, авторинок, дилерські мережі, вживані автомобілі, цифровізація, сервісна інфраструктура, світовий досвід.*

*The study provides a comprehensive analysis of the current state and structural transformations of the automotive service market in Ukraine. It examines the role of service centers as key stakeholders in the vehicle sales chain, specifically within the used car segment. Based on statistical data from 2024–2025, a significant disproportion between new and used car sales was identified, necessitating an adaptation of the service infrastructure. The research proposes modernization strategies for the industry through the implementation of digital services, predictive maintenance systems, and integrated trade models based on leading international practices.*

***Keywords****: auto service, automotive market, dealer networks, used cars, digitalization, service infrastructure, international experience.*

На сучасному етапі розвитку економіки України автомобільний транспорт залишається ключовою складовою логістичної та соціальної інфраструктури [1]. У 2025–2026 роках авторинок країни демонструє динамічне відновлення, проте воно супроводжується якісною зміною запитів споживачів. Автосервіс сьогодні перестає бути виключно технічною базою для усунення несправностей; він перетворюється на багатофункціональну платформу, яка охоплює юридичний супровід, передпродажну підготовку та фінансові інструменти обміну авто. Враховуючи євроінтеграційні процеси, критично важливим стає вивчення світового досвіду для усунення структурних прогалин у вітчизняному секторі обслуговування [2].

Ринок автосервісу в Україні є багаторівневим і включає декілька ключових сегментів, кожен з яких має свою цільову аудиторію та рівень технологічного оснащення [3].

Перший сегмент — це авторизовані дилерські центри (OEM), які забезпечують високі стандарти обслуговування нових автомобілів. Вони мають ексклюзивний доступ до оригінального ПЗ та технічних регламентів виробників.

Другий сегмент — незалежні мережеві СТО, що працюють за франшизою, забезпечуючи стабільну якість для постгарантійних авто. Третій — спеціалізовані приватні майстерні, що фокусуються на конкретних агрегатах. Аналіз інфраструктурного наповнення свідчить, що в Україні спостерігається профіцит станцій, що надають базові послуги. Водночас відчувається гострий дефіцит високотехнологічних хабів для обслуговування електромобілів (EV) та гібридів [4], зокрема центрів діагностики та перепакування високовольтних батарей. Також бракує системної цифровізації: більшість незалежних СТО досі не інтегровані в єдині бази даних історії обслуговування [5].

Одним із найбільш перспективних шляхів розвитку українського автосервісу є його трансформація у повноцінний торговельний майданчик. Світова практика (на прикладі США та Німеччини) доводить, що продаж автомобіля через сервіс є більш безпечним та вигідним

для всіх сторін [6]. В Україні цей тренд посилився із законодавчою лібералізацією торгівлі вживаними авто юридичними особами [7]. Сервісні центри починають активно впроваджувати послугу «Certified Pre-Owned» — продаж вживаних авто, які пройшли повний цикл діагностики та відновлення на власних потужностях. Це дозволяє формувати «прозору історію» автомобіля, що є критичним фактором для покупця. Крім того, розвиток сервісів Trade-in безпосередньо на базі СТО стимулює клієнтів швидше оновлювати автопарк, отримуючи при цьому гарантію на технічний стан нового придбання [8].

Аналіз ринкової ситуації у 2024–2025 роках демонструє стабільну тенденцію домінування вторинного ринку.

Нові автомобілі: За підсумками 2025 року обсяги продажів нових легкових авто склали приблизно 83,4 тис. одиниць, що демонструє зростання на 30-35% порівняно з попередніми періодами [9]. Ключовими гравцями залишаються бренди Toyota, Renault та активно зростаючий сегмент китайських електромобілів.

Вживані автомобілі: Цей сегмент залишається значно масовішим. Загальна кількість реєстрацій вживаних авто (внутрішні перепродажі та імпорт) у 2025 році перевищила 900 тис. одиниць [10]. Таким чином, обсяг ринку вживаних автомобілів в Україні перевищує ринок нових у 10–11 разів. Для автосервісу це означає, що основний потік клієнтів складають власники авто віком 8–15 років.

Для підвищення ефективності вітчизняного автосервісу необхідно звернути увагу на такі світові інновації:

1. Predictive Maintenance (Прогностичне обслуговування): Використання хмарних платформ для моніторингу технічного стану авто в реальному часі [6].
2. Екологізація процесів: Впровадження європейських стандартів утилізації технічних рідин та акумуляторів [11].
3. Дистанційне керування сервісом: Повна цифровізація запису, погодження переліку робіт через мобільні додатки та онлайн-трансляція процесу ремонту для клієнта.

Додатково, розвиток електротранспорту та новітніх технологій зарядки формує нові вимоги до сервісу [12].

Отже, підсумовуючи результати дослідження, можна стверджувати, що майбутнє українського автосервісу безпосередньо пов’язане з його здатністю адаптуватися до умов ринку. Оскільки кількість угод у вторинному сегменті вдесятеро перевищує продажі нових транспортних засобів, стратегічним пріоритетом для підприємств галузі стає формування довіри через прозору сервісну історію та впровадження комплексних послуг «під ключ» — від технічного огляду до юридичного переоформлення.

Ефективна модернізація галузі потребує відмови від застарілих «гаражних» підходів на користь цифрових рішень, прогностичного обслуговування та екологічно відповідального менеджменту, що відповідає кращим світовим стандартам. Тільки через інтеграцію сервісних потужностей у процеси купівлі-продажу та підвищення кваліфікації персоналу для роботи з новітніми електричними платформами український автосервіс зможе забезпечити сталий розвиток і стати повноцінним драйвером оновлення національного автопарку.

**Список використаних джерел**

1. Порфіренко В.І. Економічні межі рентабельного використання транспорту в сучасних умовах. *Економіка та управління*. 2024. Вип. 116.1. С. 294–313.
2. Digital Automotive Report 2025. McKinsey & Company. URL: https://mckinsey.com/industries/automotive.
3. Світовий досвід розвитку мережевих СТО: кейси Bosch та Eurorepar. *Service Manager Journal*. 2024. Vol. 12. P. 45–58.
4. Аналіз попиту на електромобілі та сервісну інфраструктуру в Східній Європі. EV World Ukraine. 2025. URL: https://evworld.com.ua/reports2025.
5. Digital Automotive Report 2025. McKinsey & Company. URL: https://mckinsey.com/industries/automotive.

6. Digital Automotive Report 2025. McKinsey & Company. URL: https://mckinsey.com/industries/automotive.
7. Проєкт Закону про внесення змін до Податкового кодексу України щодо стимулювання ринку вживаних транспортних засобів (№9083).
8. Продаж авто через Дію: тенденції та статистика перереєстрацій у 2024-2025 рр. West Auto Hub. URL: https://wah.ua/blog/175-prodaz-avto-cerez-diiu.
9. Підсумки продажів нових авто в Україні за 2025 рік. Autoconsulting. URL: https://m.autoconsulting.ua/news/default/view/60136.
10. Статистика реєстрацій вживаних автомобілів за 2024 рік. Укравтопром. URL: https://ukravtoprom.com.ua.
11. Проблеми утилізації відпрацьованих компонентів автомобілів в Україні: законодавчий аспект. Екологічне право. 2025. №4. С. 88–95.
12. BYD unveils Super e-Platform with megawatt flash charging for electric vehicles. BYD Global News. 2025. 18 March.

***Порфіренко Володимир Іванович*** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту, Національний транспортний університет (01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 242, e-mail: porfirenko@gmail.com).

***Дробязко Аріна Русланівна*** – студентка, Національний транспортний університет (01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 242, e-mail: arisha4002@gmail.com)

***Porfirenko Volodymyr Ivanovych*** – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management, National Transport University (1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka St., office 242, Kyiv, 01010, Ukraine, e-mail: porfirenko@gmail.com).

***Drobyazko Arina Ruslanivna*** – Student, National Transport University (1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka St., office 242, Kyiv, 01010, Ukraine, e-mail: arisha4002@gmail.com).

УДК 656.13:614.8

**Посонський С.Ф.**

# РОЗВИТОК БЕЗПЕЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

*Анотація. У роботі розглядаються напрями розвитку безпечних транспортних технологій у системі автомобільних перевезень. Обґрунтовано інтеграцію інтелектуальних систем підтримки водія, цифрового моніторингу та ризик-орієнтованого управління. Запропоновано комплексний підхід до підвищення безпеки перевізного процесу.*

*Abstract. The paper investigates the ways of safe transport technologies development in the road transportation system. The integration of intelligent driver support systems, digital monitoring and risk-based management is substantiated. A comprehensive approach to improving the transportation process safety is proposed.*

Система автомобільних перевезень є складною багаторівневою структурою, що об'єднує транспортні засоби, дорожню інфраструктуру, персонал, інформаційні ресурси та управлінські механізми. Зростання мобільності населення, збільшення обсягів вантажообігу та інтеграція національної транспортної мережі у міжнародні логістичні коридори зумовлюють підвищені вимоги до безпеки перевізного процесу. За сучасних умов безпека розглядається не лише як відсутність дорожньо-транспортних пригод, а як комплексна характеристика надійності, керованості та передбачуваності функціонування транспортної системи [1].

Аналіз статистичних даних свідчить, що основними причинами аварійності залишаються людський фактор, технічні несправності рухомого складу та недосконалість організації дорожнього руху. Водночас традиційні підходи до забезпечення безпеки, що базуються переважно на адміністративному контролі, втрачають ефективність. Це зумовлює необхідність переходу до інноваційних технологічних рішень, здатних мінімізувати ризики на всіх етапах перевезення – від планування маршруту до завершення транспортної операції.

Одним із ключових напрямів розвитку є впровадження інтелектуальних систем підтримки водія. Сучасні комплекси ADAS забезпечують автоматичне регулювання швидкості, контроль безпечної дистанції, попередження про можливе зіткнення та утримання транспортного засобу в межах смуги руху. Практика експлуатації свідчить, що використання таких систем дозволяє суттєво зменшити кількість критичних ситуацій на дорозі, особливо в умовах інтенсивного міського трафіку [2].

Поряд із цим активно розвиваються технології телеметричного контролю технічного стану транспортних засобів. Вбудовані діагностичні системи здійснюють безперервний моніторинг параметрів роботи двигуна, гальмівної системи, шин та електронних модулів. Застосування аналітичних алгоритмів дає змогу прогнозувати можливі відмови ще до їх фактичного прояву, що сприяє переходу від планово-попереджувального до предиктивного технічного обслуговування.

Важливою складовою безпечних транспортних технологій є цифровізація управління автотранспортними підприємствами. Використання систем GPS-моніторингу, електронних маршрутних листів, автоматизованого обліку витрат пального та контролю режимів праці й відпочинку водіїв дозволяє підвищити дисципліну та прозорість перевізного процесу. Інтеграція цих інструментів у єдину інформаційну платформу створює передумови для оперативного прийняття управлінських рішень і зниження експлуатаційних ризиків [3].

Особливу увагу слід приділити вдосконаленню конструктивних характеристик транспортних засобів. Сучасні автомобілі оснащуються багаторівневими системами пасивної безпеки: багатокамерними подушками безпеки, активними підголівниками, посиленими кузовними елементами з контрольованими зонами деформації. Застосування високоміцних матеріалів та

композитів забезпечує оптимальне співвідношення маси й міцності, що позитивно впливає на стійкість і керованість транспортного засобу.

У контексті екологічної безпеки перспективним напрямом є розширення використання електричних та гібридних транспортних засобів. Зменшення рівня шкідливих викидів та шумового навантаження сприяє формуванню більш безпечного та комфортного міського середовища. Окрім того, електронні системи керування електромобілями забезпечують точніше дозування тягового зусилля, що позитивно впливає на стабільність руху [4].

Суттєве значення має організаційно-управлінський аспект. Ефективна система безпеки на підприємстві передбачає впровадження ризик-орієнтованого підходу, який включає ідентифікацію небезпек, оцінювання ймовірності їх реалізації та розроблення превентивних заходів. До таких заходів належать регулярне навчання водіїв, психологічний відбір персоналу, контроль стану здоров'я та періодична атестація професійної компетентності.

Подальший розвиток транспортних технологій пов'язаний із концепцією взаємодії «транспортний засіб – інфраструктура – користувач». Системи обміну даними V2X дозволяють отримувати інформацію про дорожні умови, погодні фактори, обмеження швидкості та аварійні ситуації в режимі реального часу. У перспективі це створює основу для функціонування автономних транспортних засобів, здатних самостійно приймати рішення щодо маневрування та уникнення небезпеки [5].

Узагальнюючи викладене, можна сформулювати концептуальну модель розвитку безпечних транспортних технологій, яка включає: модернізацію технічних засобів перевезення; цифровізацію управління та моніторингу; удосконалення нормативно-правової бази; підвищення професійної компетентності персоналу; інтеграцію інноваційних інформаційних рішень у транспортну інфраструктуру.

Комплексна реалізація зазначених напрямів сприятиме зменшенню рівня аварійності, підвищенню надійності функціонування транспортних систем та забезпеченню сталого розвитку автомобільного транспорту в довгостроковій перспективі.

**Список використаних джерел**

1. Ковальчук В.П. Безпека автомобільного транспорту: теоретичні основи та практика забезпечення. Київ : Логос, 2021. 280 с.

2. Winner H., Hakuli S., Lotz F., Singer C. Handbook of Driver Assistance Systems. Cham : Springer, 2019. 892 p.

3. Rodrigue J.P. The Geography of Transport Systems. New York : Routledge, 2020. 456 p.

4. Євтушенко В.П. Інноваційні технології в автомобільному транспорті. Харків : ХНАДУ, 2022. 340 с.

5. Anderson J.M. Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers. Santa Monica : RAND Corporation, 2018. 221 p.

***Посонський Сергій Феліксович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, e-mail: p.s.f@ukr.net

***Posonskiy Sergiy*** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, e-mail: p.s.f@ukr.net

УДК 629.113:355.6

**Пристінський С.М., Гериш Є.**

# НАПРЯМИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ СЕРЕДНЬОТОННАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Розглянуто сучасний стан та основні напрями розвитку середньотоннажних автомобілів військового призначення. Проаналізовано конструктивні особливості, вимоги до експлуатації та тенденції вдосконалення таких транспортних засобів з урахуванням стандартів НАТО.*

***Ключові слова:*** *автомобіль, військова техніка, мобільність, конструкція, прохідність, дизельний двигун.*

*The paper considers the current state and main directions of development of medium-tonnage military vehicles. The design features, operational requirements, and improvement trends of such vehicles are analyzed, taking into account NATO standards. Special attention is paid to increasing mobility, reliability, cross-country ability, and crew protection, as well as to the prospects of using diesel engines and design unification.*

***Key words:*** *vehicle, military equipment, mobility, design, cross-country ability, diesel engine.*

Досвід застосування автомобільної техніки у Збройних Силах України свідчить про її ключову роль у забезпеченні мобільності військ. В умовах сучасних бойових дій автомобільна техніка виконує широкий спектр завдань: перевезення особового складу, доставку боєприпасів, евакуацію поранених, забезпечення логістики та технічної підтримки підрозділів тощо. Водночас існуюча структура військової автомобільної техніки значною мірою базується на застарілих підходах, що не відповідають сучасним умовам ведення бойових дій та стандартам НАТО.

Аналіз виробництва показує, що в Україні основна увага приділяється великотоннажним автомобілям, тоді як сегмент середньотоннажних машин потребує суттєвого розвитку. Саме ці транспортні засоби є найбільш універсальними для виконання тактичних завдань, оскільки поєднують достатню вантажопідйомність, мобільність та маневреність. Вони здатні ефективно діяти як у тилових районах, так і безпосередньо в зоні бойових дій.

До високомобільних автомобілів відносять транспортні засоби з вантажопідйомністю 1,5–8 т і колісною формулою 4×4 або 6×6. Вони характеризуються високим рівнем уніфікації вузлів і агрегатів, що значно спрощує їх технічне обслуговування, ремонт та забезпечення запасними частинами. Уніфікація також сприяє зниженню витрат на експлуатацію та підвищує оперативність відновлення техніки в польових умовах.

Конструкція таких автомобілів повинна забезпечувати високу прохідність, надійність у складних умовах експлуатації, простоту обслуговування та достатній рівень захисту екіпажу. Особливо важливою є здатність техніки працювати в умовах бездоріжжя, різких перепадів температур, підвищеної вологості та пилового навантаження. Надійність конструкції визначає боєздатність підрозділів, оскільки від справності техніки залежить своєчасність виконання завдань.

Сучасні технічні рішення включають використання незалежної підвіски, систем централізованої підкачки шин, міжколісного та міжосьового блокування диференціалів, а також збільшеного дорожнього просвіту. Це дозволяє значно підвищити прохідність автомобілів і забезпечити їх ефективну експлуатацію в умовах складного рельєфу. Додатково застосовуються системи контролю тиску в шинах та електронні допоміжні системи керування, що покращують стійкість і керованість транспортного засобу.

Важливим напрямом розвитку є підвищення рівня захисту автомобільної техніки. Використання броньованих кабін, протимінного захисту днища, а також відповідність стандартам

STANAG 4569 забезпечують підвищену виживаність екіпажу під час обстрілів та підривів. У сучасних умовах ведення бойових дій цей фактор набуває особливої актуальності, оскільки автомобільна техніка часто використовується саме в зоні ураження противника.

Окрему увагу слід приділити енергетичним установкам. Спостерігається тенденція до широкого застосування дизельних двигунів, що дозволяє знизити витрати палива, підвищити запас ходу та забезпечити кращу тягову характеристику. Дизельні двигуни також відзначаються більшою надійністю в умовах інтенсивної експлуатації. Водночас у військових умовах доцільно обмежувати складність електронних систем і орієнтуватися на екологічні стандарти рівня Євро-2 – Євро-3, що забезпечує баланс між екологічністю, надійністю та ремонтопридатністю.

Не менш важливим є питання логістичного забезпечення та ремонтопридатності автомобільної техніки. Умови бойових дій вимагають можливості швидкого відновлення техніки безпосередньо в польових умовах. Тому конструкція автомобілів повинна передбачати модульний принцип побудови, що дозволяє оперативно замінювати окремі вузли та агрегати без застосування складного обладнання. Це значно скорочує час простою техніки та підвищує ефективність її використання.

Крім того, перспективним напрямом є впровадження цифрових систем моніторингу технічного стану автомобілів. Такі системи дозволяють у режимі реального часу контролювати роботу основних вузлів, прогнозувати можливі відмови та своєчасно проводити технічне обслуговування. Це сприяє підвищенню надійності техніки та зниженню експлуатаційних витрат.

Визначено, що наявний парк військових автомобілів України потребує всебічного оновлення відповідно до сучасних реалій ведення бойових дій. Чимала частина техніки є морально та фізично зношеною, що знижує ефективність її експлуатації та зумовлює значні фінансові витрати на підтримання належного технічного стану.

Середньотоннажні автомобілі є найбільш доцільним класом для виконання широкого переліку тактичних завдань. Вони можуть слугувати базовими платформами для монтажу різноманітного спеціалізованого обладнання — зокрема засобів зв'язку, озброєння, інженерних систем та медичних модулів тощо.

Пріоритетними напрямами вдосконалення військової автомобільної техніки є підвищення прохідності, надійності, уніфікації та рівня захищеності екіпажу. Обґрунтованим є використання дизельних двигунів із помірним рівнем складності електронних систем, що забезпечує високу надійність в умовах польової експлуатації.

Подальший розвиток конструкцій військових автомобілів має здійснюватися з урахуванням стандартів НАТО, сучасних тенденцій розвитку техніки та можливостей вітчизняного виробництва. Це дозволить створити ефективну, надійну та конкурентоспроможну автомобільну техніку, здатну забезпечити виконання завдань у будь-яких умовах.

**Список використаних джерел**

1. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія : підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
2. Коваленко В.М., Щуріхін В.К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.
3. Дитятьєв О.В. Особливості діагностування рульового керування автомобілів Вісник машинобудування та транспорту. 2021. Вип. 2(14). С. 18–25.
4. Барановський В.М., Спірін А.В., Зелінський В.Й., Наляжний В.С. Математична модель діагностування системи уприскування палива «Mono-Jetronic» // Вісник машинобудування та транспорту. 2018. Вип. 1(7). С. 10–17.
5. Крайник Л.В., Грубель М.Г. Напрями розвитку середньотоннажних автомобілів. https://www.ukrmilitary.com/2018/11/medium-tonnage-military-vehicles.html

***Пристінський Сергій Миколайович*** – ст. викладач кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету (50002 м. Кривий Ріг вул. Гірничих інженерів 44. e-mail: pristinskiy76@knu.edu.ua).

***Гериш Єлизавета*** – студентка кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету (50002 м. Кривий Ріг вул. Гірничих інженерів 44..*e-mail:* lizagerish@gmail.com).

***Prystinskyi Serhii*** – Senior Lecturer of the Department of Automobile Transport, Kryvyi Rih National University (44 Hirnychykh Inzheneriv St., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine; e-mail: pristinskiy76@knu.edu.ua).

***Herysh Yelyzaveta*** – Student of the Department of Automobile Transport, Kryvyi Rih National University (44 Hirnychykh Inzheneriv St., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine; e-mail: lizagerish@gmail.com).

УДК 656.13:004

**Пристінський С.М., Твердохліб В.С.**

# ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЛІЦЕНЗУВАННЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЇ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

*У роботі комплексно досліджено процес цифровізації процедур ліцензування та сертифікації на автомобільному транспорті України. Проаналізовано нормативно-правові, організаційні та технологічні аспекти впровадження електронних сервісів, визначено їх вплив на ефективність державного регулювання та конкурентоспроможність автотранспортних підприємств. Окреслено проблемні питання та перспективні напрями розвитку цифрових механізмів у контексті євроінтеграції та цифрової трансформації транспортної галузі.*

***Ключові слова**: автомобільний транспорт, цифровізація, ліцензування, сертифікація, електронні послуги, е-ТТН, державне регулювання, інформаційні системи.*

*This paper provides a comprehensive study of the process of digitizing licensing and certification procedures in Ukraine's road transport sector. It analyzes the regulatory, organizational, and technological aspects of implementing electronic services and assesses their impact on the effectiveness of state regulation and the competitiveness of road transport companies. It identifies problematic issues and promising directions for the development of digital mechanisms in the context of European integration and the digital transformation of the transport sector.*

***Keywords**: road transport, digitization, licensing, certification, electronic services, e-waybill, state regulation, information systems.*

Сучасний етап розвитку автомобільного транспорту характеризується активним впровадженням цифрових технологій у всі сфери діяльності — від організації перевезень до державного регулювання. Одним із ключових напрямів є переведення процедур ліцензування та сертифікації у цифровий формат, що зумовлено необхідністю підвищення прозорості управлінських процесів, зменшення адміністративного навантаження на бізнес та інтеграції до європейського транспортного простору.

Ліцензування діяльності з перевезення пасажирів і вантажів виконує функцію державного контролю за дотриманням вимог безпеки, професійної компетентності та фінансової спроможності перевізників. Традиційні паперові процедури супроводжувалися значними часовими витратами, необхідністю особистої присутності заявника та ризиками суб'єктивного впливу. Запровадження електронного документообігу дозволило суттєво оптимізувати ці процеси.

Цифрове ліцензування передбачає подання документів через електронні кабінети, автоматизовану перевірку даних у державних реєстрах та електронне інформування заявника. Інтеграція інформаційних систем забезпечує оперативний обмін даними між органами контролю, підвищує достовірність інформації та зменшує кількість помилок.

Важливим напрямом є також цифровізація сертифікації транспортних засобів і послуг. Електронні сертифікати відповідності, цифрові реєстри акредитованих органів та обмін інформацією між контролюючими структурами формують єдину інформаційну систему галузі, що особливо актуально в умовах зростання міжнародних перевезень.

Запровадження електронної товарно-транспортної накладної (е-ТТН) стало важливим кроком у цифровізації логістики. Вона забезпечує прозорість переміщення вантажів, спрощує контроль і зменшує обсяги паперового документообігу, а також створює можливості для аналітики та прогнозування транспортних потоків.

Цифровізація сприяє скороченню термінів опрацювання звернень, підвищенню прозорості процедур, зниженню корупційних ризиків і фінансового навантаження на бізнес. Для дер-

жави це створює умови для формування достовірної статистичної бази та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Водночас цифрова трансформація супроводжується низкою викликів, зокрема потребою оновлення нормативно-правової бази, забезпечення кібербезпеки, захисту персональних даних та розвитку цифрових навичок користувачів. Особливої актуальності набуває забезпечення стабільної роботи інформаційних систем в умовах воєнного стану та кібератак.

Подальший розвиток цифрового ліцензування та сертифікації передбачає використання штучного інтелекту для автоматизованої перевірки документів, впровадження блокчейн-технологій для захисту даних та розширення можливостей дистанційного контролю дотримання вимог.

Важливим напрямом є також гармонізація національних процедур із європейськими стандартами, що сприятиме взаємному визнанню електронних документів і розширенню доступу українських перевізників до міжнародного ринку транспортних послуг.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика традиційної та цифрової моделей ліцензування

| Критерій | Традиційна модель | Цифрова модель |
|---|---|---|
| Форма подання | Паперові документи | Електронний кабінет |
| Строк розгляду | Тривалий | Скорочений |
| Контроль | Обмежена аналітика | Автоматизована перевірка |

**Список використаних джерел**

1. Про ліцензування видів господарської діяльності: Закон України від 02.03.2015 № 222 VIII.

2. Про автомобільний транспорт: Закон України від 05.04.2001 № 2344-III.

3. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання: ДСТУ 8302:2015.

***Пристінський Сергій Миколайович*** – ст. викладач, кафедра автомобільного транспорту Криворізького національного університету (50002, м. Кривий Ріг, вул. Гірничих інженерів 44, e-mail: pristinskiy76@knu.edu.ua)

***Твердохліб Володимир Сергійович*** – студент, кафедра автомобільного транспорту Криворізького національного університету (50002, м. Кривий Ріг, вул. Гірничих інженерів 44, e-mail: tverdohlib.ki22@gmail.com)

***Prystinskyi Serhii*** – Senior Lecturer, Department of Automobile Transport, Kryvyi Rih National University (44 Hirnychykh Inzheneriv St., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine; e-mail: pristinskiy 76@knu.edu.ua).

***Tverdokhlib Volodymyr*** – Student, Department of Automobile Transport, Kryvyi Rih National University (44 Hirnychykh Inzheneriv St., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine; e-mail: tverdohlib.ki22@ gmail.com).

УДК 656.135

**Прокудін Г.С., Мельников І.А., Поляк П.К., Цуканов О.І.**

## ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ СМАРТ-ТАХОГРАФІВ В УКРАЇНІ

*У тезах розглянуто сучасний стан впровадження смарт-тахографів в Україні, нормативно-правове підґрунтя, технічні вимоги та практичні наслідки для перевізників. Наведено оцінку переваг (підвищення безпеки руху, контроль робочого часу, сумісність з регламентами ЄС) та основних викликів (інфраструктура сервісу, навчання персоналу, витрати на модернізацію). Запропоновано практичні рекомендації щодо поетапного впровадження, організації сервісних пунктів та інформаційної підтримки перевізників. Анотація містить стислий виклад рішень поставлених задач і новизну підходів до адаптації європейських регламентів в українських умовах.*

***Ключові слова:*** *смарт-тахограф, перевізники, стандарти ЄС, інфраструктура, міжнародні автотранспортні перевезення, GPS, картка водія, поетапне впровадження.*

*The paper examines the current implementation of smart tachographs in Ukraine, the regulatory framework, technical requirements and practical implications for carriers. It assesses benefits (improved road safety, working-time control, EU compatibility) and main challenges (service infrastructure, staff training, upgrade costs). Practical recommendations for phased deployment, establishment of service centers and informational support for carriers are proposed. The abstract summarizes solutions to the tasks and the novelty of adapting EU regulations to Ukrainian conditions.*

***Key words:*** *smart-tachograph, carriers, EU standards, infrastructure, international freight transport, GPS, driver card, phased implementation.*

Впровадження смарт-тахографів є ключовим елементом модернізації автотранспортного сектору, що забезпечує контроль робочого часу водіїв, підвищення безпеки та відповідність міжнародним вимогам. В Україні затверджено оновлений механізм використання смарт-тахографів (Наказ Мінрегіону №532), який набирає чинності з 27 травня 2025 року [1].

Метою дослідження є аналіз нормативно-правової бази, технічні вимоги та особливостей, а також практичні аспекти впровадження смарт-тахографів в Україні; сформулювати рекомендації для перевізників і органів управління та оцінити можливі труднощі в імплементації оновленого покоління тахографів.

Розглядаючи нормативно-правове підґрунтя даної теми – основою є накази та імплементація регламентів ЄС. Український механізм імплементує відповідні регламенти ЄС щодо смарт-тахографів, затверджено опис і зразки карток, а також процедури видачі та повірки карток. Безумовно мова йде також про процедури та спрощення, адже вже було запроваджено можливість онлайн-подачі заяв на картки, врегульовано порядок встановлення та технічного обслуговування сервісних пунктів, скасовано вимогу мати на борту протокол адаптації тахографа.

Окрім того при впровадженні нового покоління тахографів має бути врахована низка технічних та організаційних аспектів, які стосуються зокрема типів пристроїв і карток, адже смарт-тахографи другого покоління забезпечують розширені можливості збору та захисту даних. Серйозну увагу слід приділити сервісній інфраструктурі – необхідно створити мережу акредитованих пунктів встановлення та повірки, забезпечити доступ до технічних засобів для адаптації та калібрування пристроїв. На сьогоднішній день, це чи не найважливіший фактор разом за навчанням та сертифікацією, адже підготовка технічного персоналу та водіїв щодо правил користування, зчитування даних та дотримання вимог є обов’язковою складовою впровадження.

Беручи до уваги усі переваги спровадження смарт-тахографів (табл. 1), безумовно слід

аналізувати та враховувати виклики та ризики, які пов’язані з процесом переходу на нове покоління, зокрема:

- фінансове навантаження. Витрати на заміну/модернізацію парку, придбання карток та організацію сервісу;
- інфраструктурні прогалини. Недостатня кількість сервісних центрів у регіонах; логістика повірки пристроїв;
- правові та процедурні ризики. Необхідність узгодження з європейськими партнерами щодо технічних процедур та доступу до карток.

Таблиця 1 – Переваги впровадження смарт-тахографів

| Атрибут | Короткий опис |
|---|---|
| Безпека руху | Контроль режимів праці/відпочинку; зниження втоми водіїв |
| Контроль та прозорість | Автоматизований облік часу роботи; зменшення порушень |
| Сумісність з ЄС | Полегшення транскордонних перевезень; відповідність регламентам |
| Аналітика | Можливість збору статистики для оптимізації маршрутів |

З 2025-2026 років в Україні впроваджуються смарт-тахографи (другого покоління) для вантажівок та автобусів, що відповідає стандартам ЄС. Вони автоматично фіксують час роботи, відпочинку, швидкість та GPS-місцезнаходження, дозволяючи дистанційну перевірку. Видача карток розпочалася у жовтні 2025 року, а з 1 липня 2026 року їх використання стане обов'язковим для багатьох комерційних авто [2].

Основні положення використання смарт-тахографів:

- обов'язковість: з 1 липня 2026 року всі вантажні автомобілі та автобуси, що здійснюють міжнародні перевезення та вперше реєструються, повинні бути оснащені смарт-тахографами, незалежно від класу екологічності;
- карти водія: видачу карток до смарт-тахографів здійснює ДП "ДержавтотрансНДІпроект", заяву можна подати онлайн. Картки для цифрових тахографів (Додаток 1В) сумісні зі смарт-тахографами;
- функціонал: смарт-тахографи автоматично фіксують робочий час, GPS-відстеження та забезпечують дистанційну передачу даних, полегшуючи контроль інспекторами Укртрансбезпеки;
- спрощення процедур: скасовано необхідність мати на борту протокол адаптації тахографа. Записи про роботу та відпочинок водія зберігаються за 56 днів;
- режим праці: водії зобов'язані дотримуватися європейських норм: 9 годин їзди на добу та обов'язкова перерва кожні 4,5 години.

Запровадження смарт-тахографів дозволяє українським перевізникам безперешкодно працювати в ЄС та забезпечує безпеку дорожнього руху, мінімізуючи людський фактор при перевірках. Смарт-тахографи нового покоління (другого покоління, Smart Tachograph 2 або G2V2) в Україні впроваджуються відповідно до вимог Європейського Союзу (пакет мобільності) для забезпечення прозорості міжнародних перевезень та синхронізації з європейськими стандартами. Вони фіксують рух автомобіля, робочий час водія, швидкість, а також здійснюють автоматичну передачу даних [3].

1) Автоматична фіксація місця розташування (GNSS): пристрій автоматично записує місце початку та закінчення робочої зміни, а також кожні 3 години руху (на відміну від першого покоління, де фіксувалися лише 4 години).

2) Інтеграція з GNSS/GPS: смарт-тахографи використовують супутникові системи (GPS, Galileo, EGNOS) для точного визначення координат.

3) Інтерфейс Bluetooth: вбудований Bluetooth дозволяє водіям та контролерам підключати зовнішні пристрої (смартфони, планшети) для зчитування даних та налаштування, що полегшує діагностику.

4) Віддалений контроль (DSRC): вбудований модуль дистанційного зв'язку (Dedicated Short-Range Communication) дозволяє інспекторам Укртрансбезпеки або поліції зчитувати дані про порушення (швидкість, час водіння) з рухомого автомобіля на відстані, не зупиняючи його.

5) Підвищена безпека та криптографія: використовуються нові карти водія та підприємства (Gen2), які не сумісні зі старими цифровими тахографами. Криптографічний захист унеможливлює маніпуляції з даними.

6) Реєстрація перетинів кордону: автоматична фіксація моменту перетину кордону (код країни), що автоматизує контроль за міжнародними перевезеннями.

7) Перемикання "робота/відпочинок": смарт-тахограф автоматично фіксує перемикання між режимами під час навантаження/розвантаження, що дозволяє чітко розмежовувати робочий час і час відпочинку (рис. 1).




Рисунок 1 – Основні технічні особливості смарт-тахографів нового покоління (G2V2)

На сьогодні в Україні вже акредитовано майстерні для встановлення та калібрування смарт-тахографів. Враховуючи контекст військового стану також уже розроблено інструкції на випадок збоїв у роботі через вплив РЕБ (радіоелектронної боротьби). Також важливим фактором при імплементації та переходу на нове покоління є те, що картки, видані для першого покоління смарт-тахографів (Gen1), можуть працювати з новими пристроями (Gen2), але карти для старіших цифрових тахографів можуть бути обмежені у функціоналі [4].

Впровадження смарт-тахографів в Україні створює умови для підвищення безпеки дорожнього руху, прозорості перевезень та інтеграції з європейськими стандартами. Успіх реалізації залежить від скоординованих дій держави, перевізників та сервісних операторів, а також від наявності чіткої поетапної стратегії та інформаційної підтримки. До практичних рекомендацій слід віднести: фактор поетапного впровадження (розробити графік заміни тахографів за категоріями транспортних засобів з урахуванням фінансових можливостей перевізників), стимулювання створення регіональних пунктів встановлення та повірки через пільги або грантові програми, проведення навчальних семінарів для перевізників і водіїв щодо нових правил та технічних вимог, запровадження механізмів часткової компенсації витрат для малих перевізників, а також забезпечення сумісності даних тахографів з національними системами моніторингу та контролю.

**Список використаних джерел**

1. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 21.03.2025 № 532 «Про затвердження Змін до деяких наказів Міністерства транспорту та зв'язку України».

2. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України № 385 від 24.06.2010 «Про затвердження Інструкції з використання контрольних пристроїв (тахографів) на автомобільних транспортних засобах» (у редакції наказів 2024–2025 років).

3. АсМАП України (Асоціація міжнародних автомобільних перевізників). Роз'яснення стосовно застосування тахографів Smart та вимог ЄКМТ. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://www.asmap.org.ua/index1.php?idt=69250] — Дата звернення: 07.04.2026.

4. Офіційний вебпортал Міністерства відновлення України (Мінрозвитку). Новини щодо затвердження механізму використання смарт‑тахографів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://mindev.gov.ua/news/zatverdzheno-mekhanizm-vykorystannia-smart-takhohrafiv-v-ukraini] — Дата звернення: 07.04.2026.

***Прокудін Г.С.*** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет (вулиця Михайла Омеляновича-Павленка, 1, Київ, Україна, 01010, e-mail: p_g_s@ukr.net)

***Мельников І.А.*** – аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет (вулиця Михайла Омеляновича-Павленка, 1, Київ, Україна, 01010, e-mail: imelya17@gmail.com)

***Поляк П.К.*** – аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет (вулиця Михайла Омеляновича-Павленка, 1, Київ, Україна, 01010, e-mail: ppolyak94@gmail.com)

***Цуканов О.І.*** – кандидат технічних наук, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет (вулиця Михайла Омеляновича-Павленка, 1, Київ, Україна, 01010, e-mail: hadjehog@gmail.com)

***Prokudin Georgii*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University (1 Mykhailo Omelianovych-Pavlenko Street, Kyiv 01010, Ukraine, e-mail: p_g_s@ukr.net)

***Melnykov Ihor*** – PhD candidate, Department of International Transport and Customs Control, National Transport University (1 Mykhailo Omelianovych-Pavlenko Street, Kyiv 01010, Ukraine, e-mail: imelya17@gmail.com)

***Polyak Petro*** – PhD candidate, Department of International Transport and Customs Control, National Transport University (1 Mykhailo Omelianovych-Pavlenko Street, Kyiv 01010, Ukraine, e-mail: ppolyak94@gmail.com)

***Tsukanov Oleksandr*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University (1 Mykhailo Omelianovych-Pavlenko Street, Kyiv 01010, Ukraine, e-mail: hadjehog@gmail.com)

УДК 629.3:614.842:630.43

**Птушевський В.В., Колесніков В.О., Балицька В.О.**

# АВТОМОБІЛЬНА ТЕХНІКА ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

*У роботі розглянуто сучасні особливості використання автомобільної техніки для ліквідації лісових пожеж як однієї з найбільш небезпечних природно-техногенних загроз. Проаналізовано основні типи пожеж та відповідні технічні засоби їх гасіння, зокрема пожежні автоцистерни підвищеної прохідності, лісові пожежні автомобілі, гусеничну та допоміжну інженерну техніку. Висвітлено приклади вітчизняних і сучасних зразків техніки, їхні конструктивні особливості та функціональні можливості. Окрему увагу приділено умовам експлуатації в Україні, включаючи виклики воєнного часу та необхідність модернізації парку машин. Показано, що ефективність боротьби з лісовими пожежами залежить від комплексного використання техніки, підвищення її автономності, прохідності та інтеграції з сучасними цифровими технологіями моніторингу.*

***Ключові слова:*** *лісові пожежі, пожежна автомобільна техніка, лісові пожежні автомобілі, автоцистерни підвищеної прохідності, гусенична техніка, пожежогасіння, спеціалізована техніка, протипожежні заходи, автономність техніки, воєнні умови, цифровий моніторинг.*

*The paper examines modern approaches to the use of firefighting vehicles for the suppression of forest fires, which are among the most dangerous natural and man-made threats. The main types of forest fires and the corresponding technical means for their suppression are analyzed, including all-terrain fire tankers, wildland fire engines, tracked vehicles, and auxiliary engineering equipment. Examples of domestic and modern firefighting vehicles are presented, along with their design features and functional capabilities. Special attention is paid to the operating conditions in Ukraine, particularly the challenges related to wartime and the need to modernize existing equipment. It is shown that effective forest fire suppression depends on the integrated use of various types of equipment, as well as on improving their autonomy, mobility, and integration with modern digital monitoring systems.*

***Key words:*** *forest fires, firefighting vehicles, wildland fire engines, all-terrain fire tankers, tracked firefighting vehicles, fire suppression, specialized equipment, fire prevention measures, vehicle autonomy, wartime conditions, digital monitoring.*

Лісові пожежі є однією з найнебезпечніших природно-техногенних загроз, що призводять до значних екологічних та економічних збитків. В Україні, як і у світі, їхня кількість зростає під впливом кліматичних змін, людського фактору та воєнних дій. За класифікацією виділяють низові, верхові та підземні (торф'яні) пожежі, кожна з яких потребує застосування спеціалізованої техніки [1-8].

Основним засобом ліквідації лісових пожеж є автомобільна техніка, оскільки вона забезпечує мобільність, автономність та оперативність реагування. На відміну від міських пожежних машин, лісові пожежні автомобілі мають підвищену прохідність, спеціалізоване обладнання та здатність працювати у важкодоступній місцевості [9].

Автомобільна техніка для гасіння лісових пожеж поділяється на декілька основних типів:

- пожежні автоцистерни підвищеної прохідності (4×4, 6×6);
- лісові пожежні автомобілі (АПЛ — автомобіль пожежний лісовий; АЛП — автомобіль лісовий пожежний, тип може бути (наприклад, легкий/середній));
- маневрені пожежні машини малої місткості;
- гусеничні пожежні машини та всюдиходи.

Зокрема, в Україні використовуються такі моделі, як АПЛ-40(131)266 та АПЛ-10(66)265,

які створені на базі автомобілів ЗІЛ-131 та ГАЗ-66 відповідно. Вони є модернізованими варіантами класичних пожежних автоцистерн, проте потребують оновлення у зв'язку із застарілими технічними характеристиками. Більш сучасним прикладом є автомобіль АЛП-7(55S18)538I (також використовують сучасні пожежні автомобілі на базі IVECO, MAN, Renault), який оснащений модернізованими насосними установками, покращеною трансмісією та підвищеною ефективністю подачі вогнегасних речовин. Важливу роль у ліквідації пожеж у складних умовах відіграють гусеничні пожежні машини, зокрема техніка на базі танків (ГПМ-54, ГПМ-72), а також спеціалізовані всюдиходи (ВПЛ-149). Такі машини здатні не лише подавати вогнегасні речовини, але й створювати мінералізовані смуги для локалізації пожежі, що є особливо важливим у важкодоступній місцевості [10].

Сучасні лісові пожежні автомобілі оснащені резервуарами для води та піноутворювачів, насосами високого тиску, системами самозахисту та комплектами інструментів для прокладання протипожежних розривів [11]. Вони повинні забезпечувати автономну роботу в умовах відсутності вододжерел і складного рельєфу.

Світовий досвід показує, що ефективне гасіння лісових пожеж потребує інтеграції автомобільної техніки з іншими засобами – авіацією, безпілотними системами та інженерною технікою [12], хоча автомобілі залишаються основною ланкою наземного реагування.

Особливістю експлуатації техніки в Україні є необхідність її адаптації до умов воєнного часу, зокрема ризику мінування територій, що потребує підвищення рівня захисту та автономності машин [10].

Відзначимо, що компанія "Пожмашина" почала виготовляти пожежні автоцистерни з додатковим захистом (рис. 1, 2). Ці машини призначені для ДП «Ліси України» і приходять на заміну застарілим машинам ще радянського виробництва. Більшість пожежних автомобілів для лісників закуповували ще у 80-90-х роках. Вони зношені і часто стоять в ремонті. Новинка виявилася дуже цікавою і здатна перевозити 4500 л води, має повний привід і сучасні системи пожежогасіння [13].




Рисунок 1 – Зовнішній вигляд пожежного автомобіля з додатковим захистом виготовленого для ДП «Ліси України» [13]

Ствол для подачі води з електроприводом, продуктивністю 1200 л/хв і дальністю подачі струменя до 50 м, є ефективним технічним засобом пожежогасіння, оскільки забезпечує інтенсивну подачу вогнегасної речовини, точність керування струменем і можливість безпечної роботи на значній відстані від осередку загоряння, що суттєво підвищує ефективність ліквідації пожеж. Кабіна автомобіля зовні обладнана захисними ґратами перед лобовим склом, щоб сміливо пробиратися крізь гілки до місця займання.

Ці автомобілі були виготовлені за індивідуальним замовленням ДП "Ліси України" з урахуванням потреб лісівників. Вони мають повнопривідне шасі JAC N180. Відзначимо, що

автомобілі марки JAC мають широке використання як спеціалізована техніка у різних напрямках [14].




Рисунок 2 – Зовнішній вигляд пожежного автомобіля з додатковим захистом виготовленого для ДП «Ліси України» [13]

Застосування комп'ютерного моделювання розглядається як ефективний науково-прикладний інструмент підвищення безпеки транспортних систем, що дозволяє на етапі проєктування та експлуатації прогнозувати поведінку матеріалів і конструкцій в умовах складних навантажень, зокрема термічних, механічних і водневмісних середовищ, а також оптимізувати технологічні процеси обробки та експлуатації деталей, мінімізуючи ризики виникнення аварійних ситуацій, пожежонебезпечних явищ і деградаційних пошкоджень, що особливо актуально при використанні спеціалізованої автомобільної техніки для ліквідації лісових пожеж [15-20].

Таким чином, розвиток автомобільної техніки для ліквідації лісових пожеж повинен бути спрямований на підвищення прохідності, автономності, рівня автоматизації та інтеграції з цифровими системами моніторингу, що дозволить значно підвищити ефективність боротьби з пожежами.

**Список використаних джерел**

1. Лісова пожежа // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Лісова_пожежа (дата звернення: 07.04.2026).
2. Попович В.В., Ренкас А.Г. Пожежні автомобілі (Частина 1). – Львів: Львівськийдержавний університет безпеки життєдіяльності, 2011. - 100 с.
3. 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.
4. Колесніков В.О. Автомобілі спеціального призначення. // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XII-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 квіт. 2024 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 149–152.
5. Балицька Валентина, Балицький Олександр, Колесніков Валерій. 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. https://doi.org/10.12958/ME-SPP-4-20.3.2025
6. 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: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.] – Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 42–47. ISBN 978-617-8163-47-1 (PDF).

7. Жуков В.В., Колесніков В.О., Балицька В.О. Аварійно-рятувальні автомобілі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту. // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XII-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 квіт. 2024 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 110–113.

8. 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. https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/926

9. Лісові пожежі: автотехніка поспішає на допомогу // NV. URL: https://nv.ua/ukr/ukraine/v-ogon-i-v-vodu-kak-vyglyadit-sovremennaya-pozharnaya-tehnika/lisovi-pozhezhi-avtotehnika-pospishaye-na-dopomogu-50042979.html (дата звернення: 07.04.2026).

10. Товарянський В. І., Ренкас А. А. Застосування протипожежної техніки для ліквідації лісових пожеж в умовах війни в Україні // Лісові пожежі в умовах війни : збірник тез доповідей Круглого столу, м. Львів, 24 травня 2024 року. Львів : ЛДУ БЖД, 2024. С. 57–61. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/13963/1/%D0%97%D0%B1%20%D0%BA%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%BB%20%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BB%D1%83%20%D0%9B%D1%96%D1%81.pdf

11. Аварійно-рятувальна, інженерна та протипожежна техніка: методичні рекомендації щодо застосування техніки під час ліквідації надзвичайних ситуацій призначені для курсантів, студентів, слухачів заочного відділення, які навчаються в учбових закладах пожежно-технічного спрямування / Укладачі: А.Г. Кутявін, В.В. Охрименко, Д.Л. Соколов – Харків.: НУЦЗУ, 2012. – 88 с.

12. Типи лісових пожеж: як вони розрізняються і які заходи обережності потрібно вживати // Euroservis. URL: https://euroservis.com.ua/ua/tipy-lesnykh-pozharov-kak-oni-razlichautsya-i-kakie-mery-predostorozhnosti-nuzhno-prinimat (дата звернення: 07.04.2026)

13. Український виробник почав виготовляти авто для пожежних з додатковим захистом // AUTO-Consulting. URL: https://autoconsulting.ua/article.php?sid=60190 (дата звернення: 07.04.2026).

14. Соколов Є. В., Либа О. С., Ревякіна О. О. Спеціалізовані автомобілі JAK // 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. 354–359.

15. Balitskii, A.I.; Havrilyuk, M.R.; Balitska, V.O.; Kolesnikov, V.O.; Ivaskevych, L.M. Increasing Turbine Hall Safety by Using Fire-Resistant, Hydrogen-Containing Lubricant Cooling Liquid for Rotor Steel Mechanical Treatment. Energies 2023, 16, 535. https://doi.org/10.3390/en16010535

16. Бикадорова Н.О., Колесніков В.О., Бурдун В.В., Балицька В.О. Застосування комп'ютерного моделювання як метод підвищення безпеки на транспорті. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. конф., 23–25 жовт. 2023 р., м. Вінниця. Вінниця, 2023. С. 60–62.

17. Balitskii, A.I.; Havrilyuk, M.R.; Balitska, V.O.; Kolesnikov, V.O.; Ivaskevych, L.M. Increasing Turbine Hall Safety by Using Fire-Resistant, Hydrogen-Containing Lubricant Cooling Liquid for Rotor Steel Mechanical Treatment. Energies 2023, 16, 535. https://doi.org/10.3390/en16010535

18. 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 вересня 2024 року). Харків : Вид-во Іванченка І. С., 2024. С. 40 – 45.

19. 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 міжнар. наук.-практ. конф., 16–18 квіт. 2024 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 44–47.

20. Колесніков В.О., Балицький О.І., Гаврилюк М.Р., Балицька В.О., Іваськевич Л.М. Застосування методів комп'ютерного зору для контролю якості виробів енергомашинобудування. «Актуальні питання експертної та оціночної діяльності»: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Полтава, 26–27 вересня 2024 року). Харків: Вид-во Іванченка І. С., 2024. С. 127 – 132.

***Птушевський Віктор Володимирович*** **–** здобувач вищої освіти 4 курсу першого (бакалаврського) рівня спеціальності «Професійна освіта. Транспорт» кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультету технологій та інформаційних систем ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна).

***Колесніков Валерій Олександрович*** – кандидат техн. наук, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах у Фізико-механічному інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу ЛНУ ім. Тараса Шевченка (79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, каб. 39, 37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, Полтавська область, Україна, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com).

***Балицька Валентина Олексіївна*** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та хімії горіння інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (79000, Львів, вул. Клепарівська, 35, ауд. 402, e-mail: v.balytska@ldubgd.edu.ua, vbalitska@yahoo.com).

***Ptushevskyi Viktor Volodymyrovych*** **–** a 4th-year student of the first (Bachelor's) level of higher education in the specialty "Professional Education. Transport", Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Taras Shevchenko Luhansk National University (2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava region, Ukraine).

***Kolesnikov Valerii*** – Candidate of Technical Sciences, 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; Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Luhansk Taras Shevchenko National University (5 Naukova St., Office 39, Lviv 79060, Ukraine; 2 Viktora Novikova St., Lubny 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: kolesnikov197612@gmail.com)

***Balitska Valentina*** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Chemistry of Combustion, Institute of Fire and Technogenic Safety, Lviv State University of Life Safety (35 Kleparivska St., room 34, Lviv 79000, Ukraine); e-mail: v.balytska@ldubgd.edu.ua, vbalitska@yahoo.com).

УДК 629.3:620.22:678.7

**Ревякіна О.О., Бурдун В.В., Рожкова А.Ю., Бикадорова Н.О., Боркут А.В.**

# СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

*У роботі розглянуто сучасні підходи до використання композиційних матеріалів в автомобілебудуванні. Проаналізовано основні типи композитів, зокрема полімерні матеріали, армовані скляними та вуглецевими волокнами, а також термопластичні та біокомпозиційні системи. Висвітлено переваги їх застосування у зниженні маси транспортних засобів, підвищенні енергоефективності та покращенні експлуатаційних характеристик. Особливу увагу приділено інтегрованому проєктуванню конструкцій, цифровому моделюванню та технологічним аспектам формування композитних виробів. Узагальнено сучасні наукові підходи до забезпечення надійності, довговічності та безпеки елементів автомобільних систем із використанням композиційних матеріалів.*

***Ключові слова:*** *композиційні матеріали; автомобілебудування; полімерні композити; вуглепластики; склопластики; термопластичні композити; біокомпозити; легковагові конструкції; цифрове моделювання; надійність конструкцій.*

*The paper examines modern approaches to the use of composite materials in automotive engineering. The main types of composites are analyzed, including polymer materials reinforced with glass and carbon fibers, as well as thermoplastic and biocomposite systems. The advantages of their application in reducing vehicle weight, improving energy efficiency, and enhancing performance characteristics are highlighted. Particular attention is paid to integrated structural design, digital modeling, and technological aspects of composite manufacturing. Modern scientific approaches to ensuring reliability, durability, and safety of automotive components made of composite materials are summarized.*

***Key words:*** *composite materials; automotive engineering; polymer composites; carbon fiber reinforced plastics; glass fiber reinforced plastics; thermoplastic composites; biocomposites; lightweight structures; digital modeling; structural reliability.*

Сучасне автомобілебудування активно орієнтується на зниження маси транспортних засобів, підвищення їх паливної або енергетичної ефективності, а також на зменшення викидів парникових газів. У цьому контексті композиційні матеріали розглядаються як один із найперспективніших напрямів розвитку конструкційних рішень для автомобільної галузі. Особливий інтерес до них зумовлений поєднанням малої густини, високої питомої міцності, корозійної стійкості та можливості цілеспрямовано формувати властивості матеріалу під конкретні експлуатаційні вимоги [1-7]. У сучасних оглядових роботах підкреслюється, що саме легкі композити сьогодні є важливою частиною стратегії automotive lightweighting [8, 9].

Найбільш поширеними в автомобілебудуванні є полімерні композиційні матеріали, армовані скляними або вуглецевими волокнами. Склопластики (GFRP) характеризуються більш доступною вартістю та достатніми механічними властивостями, тому широко застосовуються для кузовних панелей, елементів салону, облицювання та напівструктурних деталей. Вуглепластики (CFRP) мають вищі показники питомої міцності й жорсткості, що робить їх особливо цінними для високонавантажених і відповідальних конструкцій, хоча їх використання все ще стримується високою собівартістю. Оглядові публікації 2025 року також відзначають зростання ролі гібридних систем, у яких поєднуються полімерні, металеві та багатокомпонентні армувальні схеми [9, 10].

Один із ключових сучасних підходів полягає у переході від простого заміщення металу композитом до інтегрованого проєктування деталі з урахуванням анізотропії, технології формування, умов навантаження та вимог до безпеки. Такий підхід передбачає, що композитний

елемент створюється не як геометричний аналог сталевої чи алюмінієвої деталі, а як нова конструкція з оптимізованою формою, орієнтацією волокон, локальним підсиленням і мінімізованою масою. Саме тому дедалі більшого значення набувають цифрове моделювання, скінченно-елементний аналіз і багатокритеріальний підбір матеріалу. Ці тенденції підтверджуються як сучасними оглядовими працями, так і прикладними дослідженнями з оптимізації автомобільних вузлів та деталей [11, 12].

Важливим напрямом є застосування термопластичних композиційних матеріалів. Порівняно з традиційними термореактивними системами вони забезпечують коротший виробничий цикл, кращу придатність до автоматизації та ширші можливості вторинної переробки. Саме тому термопластичні композити сьогодні розглядають як один із найбільш перспективних варіантів для серійного автомобільного виробництва. Дослідження, присвячені розвитку структурних автомобільних композитів у Японії та сучасним оглядам для електромобілів, показують, що технології CFRTP, GMT, LFT та SMC стають дедалі важливішими для виготовлення легких і технологічних деталей кузова, шасі та батарейних модулів [13, 14].

Ще один сучасний підхід пов'язаний із розширенням використання натурально-волокнистих та біокомпозиційних матеріалів. Вони особливо перспективні для внутрішніх панелей, дверних карт, облицювальних елементів салону, підкладок і декоративно-функціональних деталей. Їх перевагами є менша густина, екологічність, нижчий вуглецевий слід і можливість часткової заміни синтетичних армувальних наповнювачів. Разом з тим для таких матеріалів залишаються актуальними питання вологостійкості, довговічності, стабільності властивостей та сумісності з полімерною матрицею. Саме ці аспекти сьогодні активно опрацьовуються в новітніх оглядових дослідженнях [15-17].

Сучасні дослідження у сфері композиційних матеріалів свідчать про розширення їх застосування не лише в автомобілебудуванні, а й у суміжних галузях, що дозволяє формувати міждисциплінарні підходи до проєктування транспортних систем [18-25]. У цих роботах показано, що ефективність використання композитів значною мірою залежить від технологічних параметрів їх формування, структури армування та умов експлуатації виробів [23]. Дослідження процесів попереднього формування та обробки напівфабрикатів композитних профілів підтверджують необхідність оптимізації технологічних режимів для забезпечення високої якості та довговічності виробів [23]. Крім того, аналіз роботи армованих композитних елементів у конструкціях демонструє їхню здатність ефективно сприймати навантаження та підвищувати експлуатаційну надійність систем [20]. У сучасних умовах важливого значення набуває також забезпечення безпеки транспортної інфраструктури, де використання композитних матеріалів може сприяти підвищенню рівня захисту та довговічності елементів дорожнього середовища [18; 24]. Окремі дослідження підкреслюють перспективність застосування композитів у відповідальних конструкціях, зокрема сейсмостійких, що підтверджує їх високий потенціал для використання в транспортних засобах нового покоління [22]. Таким чином, узагальнення сучасних наукових результатів свідчить про доцільність комплексного підходу до використання композиційних матеріалів, який поєднує технологічні, конструкційні та експлуатаційні аспекти, що є особливо актуальним для автомобілебудування в умовах підвищених вимог до безпеки, надійності та ефективності.

Отже, сучасні підходи до використання композиційних матеріалів в автомобілебудуванні базуються на комплексному поєднанні матеріалознавчих, конструкційних і технологічних рішень. Найбільш перспективними напрямами є застосування легких полімерних і гібридних композитів, впровадження термопластичних систем у серійне виробництво, використання біокомпозитів для підвищення екологічності транспорту, а також інтеграція цифрового проєктування при створенні нових деталей. Саме ці підходи формують сучасний вектор розвитку автомобільної інженерії та відкривають нові можливості для створення легших, безпечніших і більш сталих транспортних засобів.

**.Список використаних джерел**

1. 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: матеріали XII-ї міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 квіт. 2024 р., Вінниця). Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 274–277.
2. 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: матеріали XII-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 квіт. 2024 р., Вінниця). Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 278–281.
3. Боркут А.В., Колесніков В.О. Використання композиційних матеріалів в автомобілебудуванні. Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «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. С. 81–85.
4. Боркут А.В., Колесніков В.О. Приклад застосування та розрахунку композиційних 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.
5. Боркут, А. В., Колесніков, В. О. Приклад застосування та розрахунку композиційних матеріалів у автомобілебудуванні за допомогою сучасних САПР. Частина 1. // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XII-ї міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 квіт. 2024 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 48–51.
6. Боркут, А. В., Колесніков, В. О., Ревякіна, О. О. Приклад застосування та розрахунку композиційних матеріалів у автомобілебудуванні за допомогою сучасних САПР. Частина 2 // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XII-ї міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 квіт. 2024 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 52–55.
7. Боркут, А. В., Колесніков, В. О., Васецька, Л. О. Приклад застосування та розрахунку композиційних матеріалів у автомобілебудуванні за допомогою сучасних САПР. Частина 3 // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XII-ї міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 квіт. 2024 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 56–59.
8. Czerwinski, F. Current Trends in Automotive Lightweighting Strategies and Materials. Materials 2021, 14, 6631. https://doi.org/10.3390/ma14216631
9. Yan, L.; Xu, H. Lightweight composite materials in automotive engineering: State-of-the-art and future trends. Alexandria Engineering Journal 2025, 118, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.12.002
10. Khan, F.; Hossain, N.; Mim, J.J.; Rahman, S.M.M.; Iqbal, M.J.; Billah, M.; Chowdhury, M.A. Advances of composite materials in automobile applications—A review. Journal of Engineering Research 2025, 13(2), 1001–1023. https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017
11. Tomasi I, Grandi S, Solazzi L. Implementation of Composite Materials for an Industrial Vehicle Component: A Design Approach. Journal of Composites Science. 2025; 9(4):168. https://doi.org/10.3390/jcs9040168
12. Risaliti, E.; Del Pero, F.; Arcidiacono, G.; Citti, P. Optimizing Lightweight Material Selection in Automotive Engineering: A Hybrid Methodology Incorporating Ashby's Method and VIKOR Analysis. Machines 2025, 13, 63. https://doi.org/10.3390/machines13010063
13. Ishikawa, T.; Amaoka, K.; Masubuchi, Y.; Yamamoto, T.; Yamanaka, A.; Arai, M.; Takahashi, J. Overview of automotive structural composites technology developments in Japan. Composites Science and Technology 2018, 155, 221–246. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.09.015
14. Wazeer, A.; Das, A.; Abeykoon, C.; Sinha, A.; Karmakar, A. Composites for electric vehicles

and automotive sector: A review. Green Energy and Intelligent Transportation 2023, 2(1), 100043. https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100043
15. Fragiadaki, A.; Tserpes, K. Impact Response of a Thermoplastic Battery Housing for Transport Applications. Batteries 2025, 11, 369. https://doi.org/10.3390/batteries11100369
16. Skosana SJ, Khoathane C, Malwela T. Driving towards sustainability: A review of natural fiber reinforced polymer composites for eco-friendly automotive light-weighting. Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2025;38(2):754-780. doi:10.1177/08927057241254324
17. Mbatha Abednigo Jabu, AA Alugongo, and NZ Nkomo, "Application of Natural Fibre Composites in Interior Panels in the Automotive Industry: A Review," International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), vol. 72, no. 3, pp. 91-98, 2024. Crossref, https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I3P10
18. 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
19. 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.
20. Ігнатьєва, В. Аналіз роботи профільних виробів, армованих волокнами композитів у конструкції / В. Ігнатьєва // Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій: матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (10–11 листоп. 2022 р.). – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 60–61. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/39096/2/MNTK_2022_Ihnatieva_V-Analysis_of_the_work_of_60-61.pdf
21. Ihnatieva, Viktoriia. "Information support for territorial improvement planning." I International Scientific and Practical Conference: Planning and Ensuring Sustainable Development of Socio-Economic Systems. No. Part 1. WSHIU University of Applied Sciences, P.96-98. 2025. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/51465/1/WSHiU.Conf_.18.12.2025_Ihnatieva-96-98.pdf
22. 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
23. 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
24. 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
25. Ihnatieva, Viktoriia. "Information support for territorial improvement planning." I International Scientific and Practical Conference: Planning and Ensuring Sustainable Development of Socio-Economic Systems. No. Part 1. WSHIU University of Applied Sciences, P.96-98. 2025. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/51465/1/WSHiU.Conf_.18.12.2025_Ihnatieva-96-98.pdf

***Ревякіна Ольга Олександрівна*** **–** к.т.н., доцент, каф. технологій виробництва і готельно-ресторанної справи, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка. (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: olga.0509239777@gmail.com).

***Бурдун Віктор Васильович*** – кандидат пед. наук, доцент, зав. каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: burdun_v_v@ukr.net).

***Рожкова Анастасія Юріївна –*** викладач каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: cracks2010@ukr.net).

***Бикадорова Наталія Олексіївна –*** ст. викладач каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: itottstar@gmail.com).

***Боркут Антон Валерійович –*** здобувач вищої освіти 3 курсу першого (бакалаврського) рівня спеціальності «Професійна освіта. Аграрне виробництво, переробка сільськогосподарської продукції та харчові технології» каф. професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу, факультет технологій та інформаційних систем, ЛНУ ім. Тараса Шевченка (37500, м. Лубни, вул. Віктора Новікова, 2, каб. 163, Полтавська область, Україна, e-mail: Anton.borkut@gmail.com).

***Reviakina Olga*** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Production Technologies and Hotel and Restaurant Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: olga.0509239777@gmail.com).

***Burdun Viktor*** – Candidate of Pedagogical Sciences (PhD in Education), Associate Professor, Head of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technology and Information Systems, Taras Shevchenko National University of Luhansk (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: (burdun_v_v@ukr.net)

***Rozhkova Anastasiia*** – Lecturer, Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University. (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: cracks2010@ukr.net).

***Bykadorova Natalia*** - Senior Lecturer, Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University. (Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: itottstar@gmail.com)

***Borkut Anton*** - Third-year student of the first (Bachelor's) level of higher education in the specialty "Vocational Education. Agricultural Production, Processing of Agricultural Products and Food Technologies", Department of Vocational Education, Restaurant and Tourism Business, Faculty of Technologies and Information Systems, Luhansk Taras Shevchenko National University(Office 163, 2 Viktora Novikova St., Lubny, 37500, Poltava Region, Ukraine; e-mail: Anton.borkut@gmail.com)

УДК 691.175

**Ричок С.О., Гутаревич Ю.Ф.**

# ВПЛИВ СПОСОБУ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ НА ВИТРАТУ ПАЛИВА ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

*Наведені результати дослідження впливу різних способів відключення групи циліндрів на паливну економічність багатоциліндрового двигуна з іскровим запалюванням. Встановлено, що поліпшити паливну економічність двигуна при відключенні групи циліндрів можливо при вільному впуску повітря у відключену групу циліндрів.*

***Ключові слова:*** *двигун з іскровим запалюванням, комбінований метод регулювання, відключення групи циліндрів, витрата палива.*

*The paper presents the results of a study on the impact of various cylinder deactivation strategies on the fuel economy of a multi-cylinder spark-ignition engine. It has been established that improving engine fuel efficiency through cylinder deactivation is achievable by ensuring free air intake into the deactivated cylinder group.*

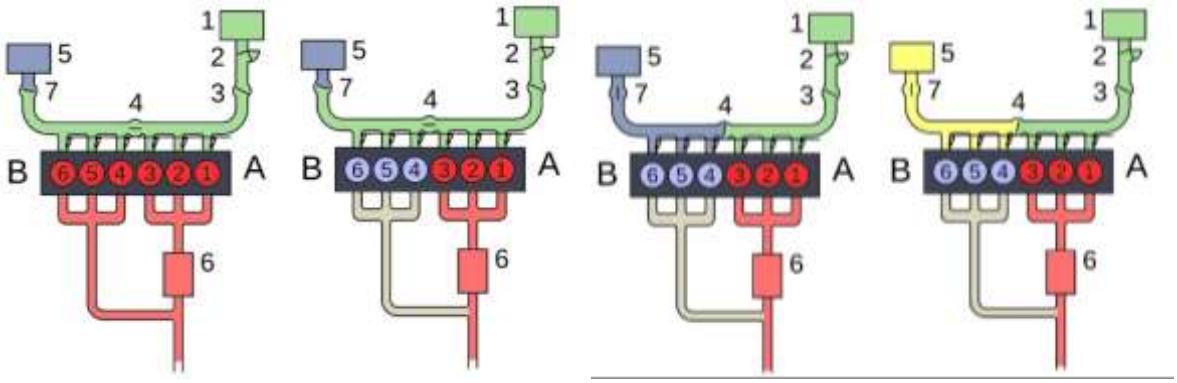
***Key words:*** *spark-ignition engine, combined regulation method, cylinder group deactivation, fuel consumption.*

Відомо, що використання палива транспортними засобами в значній мірі визначається умовами експлуатації. В умовах інтенсивного руху, зокрема в містах і населених пунктах, основними експлуатаційними режимами роботи двигунів є часткові навантажувальні режими та режими холостого ходу. Відомо, що в цих режимах паливна економічність двигунів з іскровим запалюванням значно погіршується, що є наслідком методу регулювання потужності цих двигунів — дроселюванням паливо-повітряної суміші.

Відомі методи поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням в режимах часткових навантажень і холостого ходу. Одним з таких методів є регулювання потужності зміною робочого об'єму двигуна за рахунок зменшення числа працюючих циліндрів.

Для дослідження були обрані два способи відключення групи циліндрів:

- при незмінній системі газорозподілу (рис. 1. а, б);
- при вільному впуску повітря з різною температурою у відключену групу (рис. 1. в, г).




а б в г

Рисунок 1 — Схема системи газорозподілу з внесеними змінами для реалізації різних способів відключення групи циліндрів: А — група робочих циліндрів; В — група циліндрів, яку відключають; 1 — повітряний фільтр штатної системи впуску; 2 — витратомір повітря; 3 — дросельна заслінка; 4 — заслінка для роз’єднання груп циліндрів; 5 — повітряний фільтр для вільного впуску повітря у відключену групу циліндрів; 6 — каталітичний нейтралізатор; 7 — заслінка для вільного впуску повітря у відключену групу циліндрів

Для встановлення причин погіршення паливної економічності двигуна з іскровим запалюванням в режимах малих навантажень використали результати проведеного в Національному транспортному університеті індиціювання робочого процесу двигуна Opel 6Ч9,5/6,98, який є об'єктом дослідження. Визначили три фази процесу згорання паливо-повітряної суміші, а саме: «першу» або фазу прихованого горіння, «другу» – фазу швидкого або видимого горіння та «третю» – фазу догорання. Встановили тривалість першої і другої (основних) фаз згорання при різних ступенях дроселювання, які оцінювали розрідженням на впуску Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Тривалість фаз процесу згорання двигуна 6Ч9,5/6,98 в залежності від розрідження на впуску за частоти n = 2000 хв$^{-1}$

| $\Delta p_k$ кПа | φ1 град. пов. к.в. | φ2 град. пов. к.в. | φ3 град. пов. к.в. |
|---|---|---|---|
| 14,5 | 10,3 | 28,1 | 64,7 |
| 51 | 15,5 | 30,9 | 71,2 |
| 32 | 13 | 31 | |

Використовуючи ці результати, провели теоретичні і експериментальні дослідження. За результатами теоретичних досліджень розрахували величини індикаторного к.к.д. в залежності від індикаторної потужності двигуна за робити на трьох і шести циліндрах (рис. 2).

В експериментальних дослідженнях визначили середній тиск механічних втрат в залежності від розрідження на впуску двигуна для різних конфігурацій системи газорозподілу. Ці залежності показані на рис. 3.

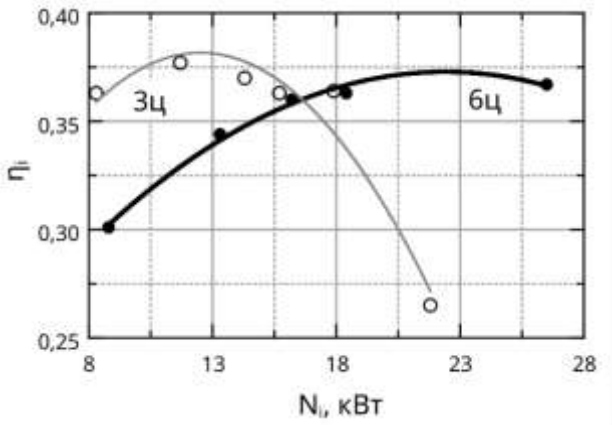



Рисунок 2 – Залежність індикаторного к.к.д. від індикаторної потужності двигуна за роботи на трьох і шести циліндрах, (n=2000 хв$^{-1}$)

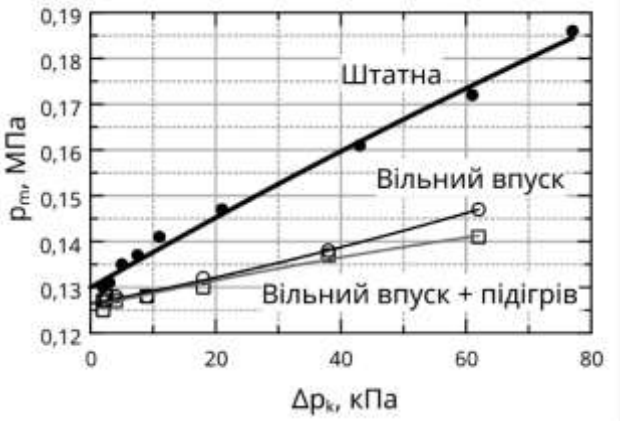



Рисунок 3 – Залежність середнього тиску механічних втрат двигуна 6Ч9.5/6.98 від розрідження на впуску (n = 2000 хв$^{-1}$)

За результатами досліджень довели ефективність вказаних способів регулювання потужності для режимів роботи двигуна при часткових навантаженнях і ХХ.

Для підтвердження отриманих результатів провели експериментальне дослідження з порівнянням впливу вказаних способів відключення циліндрів на паливну економічність двигуна та отримали наступні дані:

- максимальний крутний момент за роботи на 3-ох циліндрах складає 40% максимального крутного моменту на 6-ти циліндрах (74 Нм і 185 Нм).
- використовувати відключення доцільно до величини крутного моменту 50 Нм, де має місце економія палива.

Поліпшення паливної економічності в інтервалі навантажень від 0 до 50 Нм складає 10,0 ... 0,0% (рис. 4).

Об'єктивною оцінкою паливної економічності двигуна є залежність ефективної питомої витрати палива від ефективних показників, зокрема середнього ефективного тиску $p_e$. Розрахували залежність $p_e(\Delta p_k)$ для розглянутих способів відключення групи циліндрів (рис. 5).

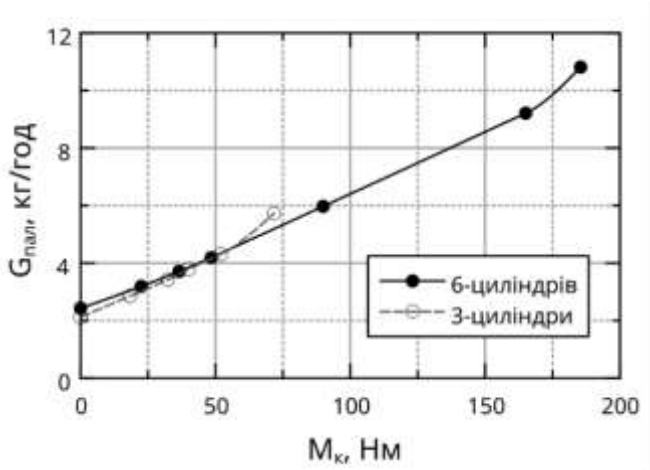



Рисунок 4 – Залежність годинної витрати палива від ефективного крутного моменту двигуна 6Ч9,5/6,98 за роботи на 6-и і 3-х циліндрах (n = 2000 хв$^{-1}$)

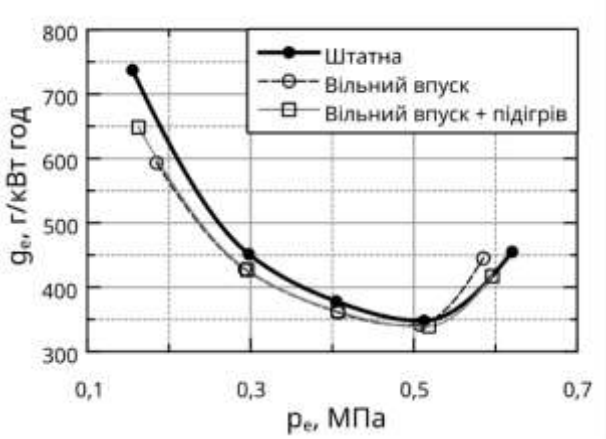



Рисунок 5 – Залежність ефективної питомої витрати палива від середнього ефективного тиску двигуна 6Ч9,5/6,98 (n = 2000 хв$^{-1}$)

Експерименти на двигуні 6Ч 9,5/6,98 показали, що витрата бензину при вільному впуску повітря в відключені циліндри нижча в порівнянні з способом з незмінною системою газорозподілу. Найбільшого поліпшення можна досягнути при вільному впуску підігрітого повітря у відключену групи циліндрів. В порівнянні з відключенням групи циліндрів при незмінній системі газорозподілу економія складає 1,5 ... 13,5%. При вільному впуску повітря без підігріву

у відключено групу циліндрів паливна економічність поліпшується на 1,5 ... 10,5 % у порівнянні з незмінною системою газорозподілу.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень можна вважати, що з врахуванням необхідних змін в конструкції двигуна для практичного використання найбільш доцільним є використання способу відключення подачі палива з вільним впуском у відключені циліндри повітря при температурі навколишнього середовища. Підігрів повітря незначно поліпшує показники двигуна, але вимагає встановлення додаткових пристроїв.

**Список використаних джерел**

1. Сирота О.В. Покращення паливної економічності і екологічних показників багатоциліндрового бензинового двигуна застосуванням комбінованого методу регулювання потужності: дис… канд. техн. наук: 05.05.03. Київ., 2011. 295с.
2. Ричок С.О. Напрями удосконалення комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням. Вісник НТУ. Серія “Технічні науки” Науково-технічний збірник. Київ, 2021. Випуск 3 (50), С. 180 — 187.
3. Гутаревич Ю.Ф., Ричок С.О. Вплив способу реалізації комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням на механічні втрати та паливну економічність. Вісник НТУ. Серія “Технічні науки” Науково-технічний збірник. Київ, 2022, Випуск 1 (51), С. 149-158.
4. Гутаревич Ю.Ф., Ричок С.О. Поліпшення паливної економічності двигуна з іскровим запалюванням удосконаленням способу відключення групи циліндрів при регулюванні енергетичних показників комбінованим методом. Вісник НТУ. Серія “Технічні науки” Науково-технічний збірник. Київ, 2022, Випуск 3 (53), С. 118 — 126.
5. Kovbasenko S., Yushchenko M., Rychok S. Вплив способу відключення групи циліндрів двигуна з іскровим запалюванням на показники роботи в режимах холостого ходу. Systemy i srodki transportu samochodowego. Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy – Pzeszow, 2019. – S. 25-33.
6. Gutarevych Y., D Rychok S. Influence of the way of realization of the combined power regulation method for the fuel efficiency of the engine with spark ignition. Transport means engineering. Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy – Pzeszow, 2022. – S. 45-52.
7. Matijošius, J.; Rychok, S.; Gutarevych, Y.; Shuba, Y.; Syrota, O.; Rimkus, A.; Trifonov, D. Enhancing the Fuel Efficiency and Environmental Performance of Spark-Ignition Engines through Advancements in the Combined Power Regulation Method. Energies 2024, 17, 3563.

***Ричок Сергій Олексійович***, доктор філософії, науковий співробітник ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна, email: srychok@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-7003-5116, тел. +38(044) 201 0863, м. Київ, вул. Новомостицька 2а, кв. 7.

***Гутаревич Юрій Феодосійович***, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 302.

***Rychok Sergiy***, Ph.D. research fellow, State Enterprise «State Road Transport Research Institute», Kyiv, Ukraine, email: srychok@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-7003-5116, тел. +38(044) 201 0863, Kyiv, Novomostitska str. 2a, fвул. Новомостицька 2а, app. 7

***Gutarevich Yurii***, Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor of the department «Engines and Heating», e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of 302.

УДК 378.147:004:656.1

**Рогозін І.В., Пічугін І.М., Новічонок С.М., Цибульський О.В.**

# ЗАСТОСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЗДОБУВАЧАМИ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*У дослідженні розглядаються напрямки вдосконалення підготовки здобувачів вищої освіти з вивчення автомобільної технікі шляхом використання сучасних мобільних технологій.*

***Ключові слова:*** *автомобільна техніка, веб-додатки, інтерактивний контент, мобільні технології, система управління навчанням, транспортний засіб*

*This research explores methods for enhancing automotive engineering education for university students by implementing advanced mobile technologies.*

***Key words:*** *automotive technology, web applications, interactive content, mobile technologies, learning management system, vehicle*

Підготовка спеціалістів у вищих військових навчальних закладах (ВВНЗ) має дуже велике значення для забезпечення обороноздатності нашої державі. Це підтверджує досвід російсько-української війни та мінливий характер ведення сучасних бойових дій. Однією з важливих складових підготовки майбутніх офіцерів є напрямок підготовки спеціалістів в галузі автомобільного транспорту, а саме підготовки за програмою навчальної дисципліни Автомобільна техніка (у т.ч. автомобільна підготовка) (далі – Автомобільна техніка). Особливо важливо це для курсантів факультетів, що в подальшому вивчають засоби пересування на базі багатовісних колісних та гусеничних шасі [1-4].

Також, слід відзначити, що від справності військового транспортного засобу та навченості його водія (механіка-водія) залежить готовність підрозділу та військової частини до виконання завдання за призначенням. Відповідно до [4], курсант, що не отримав посвідчення водія транспортного засобу категорії С, не буде допущений до керування багатовісними колісними шасі, що знижує якість підготовки випускника ВВНЗ [4-7].

Труднощі, що виникають підчас вивчення навчальної дисципліни Автомобільна техніка можна зв’язати з багатьма чинниками: загальним зниженням якості базової підготовки абітурієнтів (дистанційне навчання у школі під час епідемії COVID-19, війни з рф тощо), погіршенням можливості навчання через тривали повітряні тривоги та ін. У сукупності, наявність вказаних труднощів визначає потребу у адаптуванні системи підготовки тих, хто навчається у ВВНЗ, зокрема за програмою навчальної дисципліни Автомобільна техніка [1, 2, 6].

Під час проходження програми навчальної дисципліни Автомобільна техніка ті, хто навчається складають теоретичний та практичний іспити в територіальному сервісному центрі Міністерства внутрішніх справ України (далі – сервісному центрі МВС) та отримують посвідчення водія транспортного засобу категорії С (рис. 1). Опанування програми навчальної дисципліни Автомобільна техніка [7] потребує витрати певного навчального часу. Також слід враховати, що індивідуальні здібності щодо засвоєння навчального матеріалу у кожного з тих, хто навчаються не однакові та, деяких випадках, потребують більшої, ніж передбачено навчальною програмою, витрати навчального часу. Через специфіку підготовки, компенсувати це простим збільшенням витрат часу на самостійної підготовки не завжди можливо.

На цей час теоретичний іспит у сервісному центрі МВС вимагає від майбутнього водія досконалого розуміння будови та експлуатації транспортного засобу, правил дорожнього руху України (далі – ПДР), основ безпеки руху та надання першої медичної допомоги, а не простого механічного запам'ятовування [3-6]. У той же час, інтенсивне застосування електронних гаджетів у повсякденному житті та рівень сучасних освітніх технологій надає можливість курсантам у вільний час додатково опановувати навчальні питання [6, 8-10].

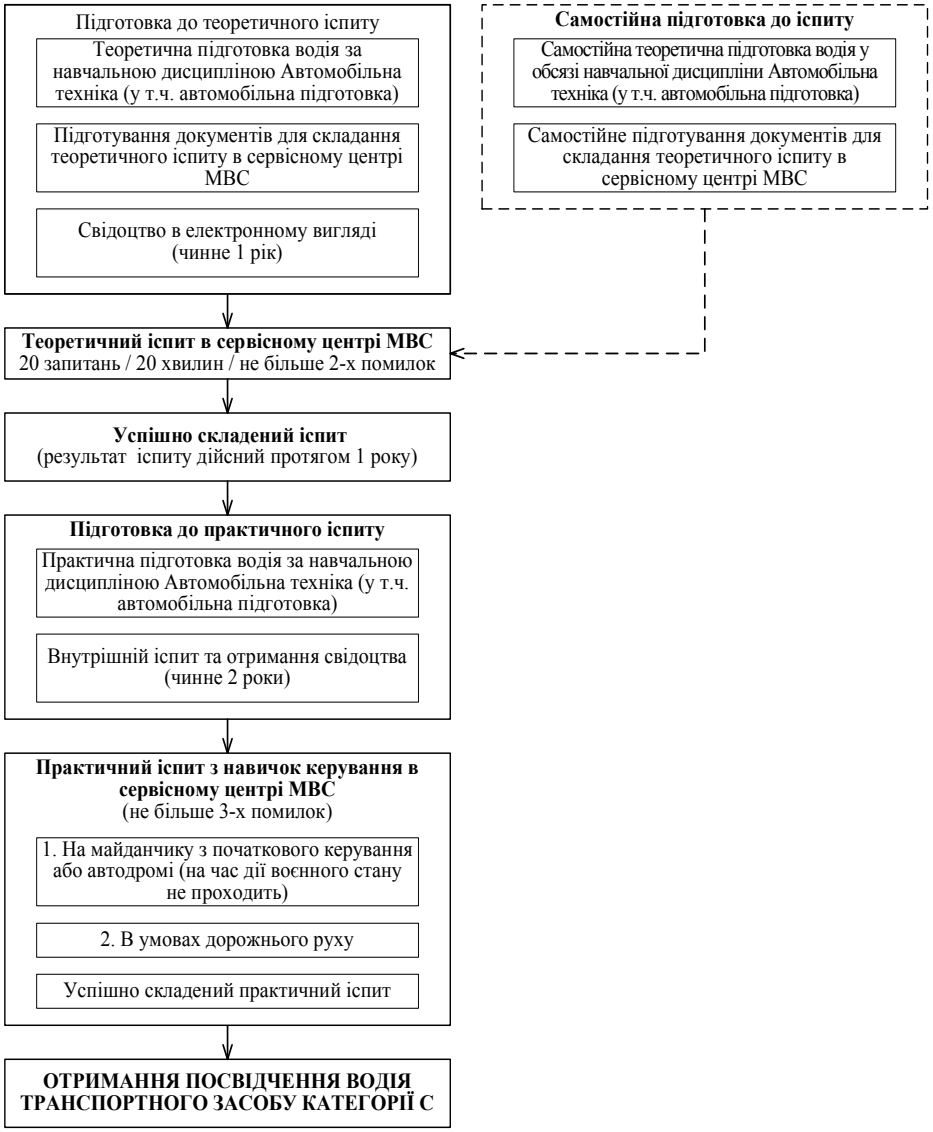



Рисунок 1 – Послідовність дій для отримання посвідчення водія транспортного засобу категорії С [3-6]

На сьогодні мобільні технології охоплюють великий спектр програмного забезпечення, інтерактивних інструментів та мережевих можливостей, які реалізовані на смартфонах, планшетах та інших гаджетах, які можуть бути застосовані як цілісний цифровий навчальний комплекс. Мобільні- та вебдодатки зараз є одним з найбільш ефективних інструментів для самостійної підготовки здобувачів вищої освіти та можуть надавати тим, хто навчається цілодобовий доступ до навчальних матеріалів, постійну підтримку та консультації викладачів і методистів, відеолекції, віртуальні тренажери та інші технологічні рішення для забезпечення ефективності навчального процесу. Так, на рис. 1 пунктиром вказаний шлях самостійної підготовки того, хто навчається до теоретичного іспиту в сервісному центрі МВС [3, 6, 8-10].

З урахуванням досвіду сучасної підготовки водіїв транспортних засобів в умовах воєнного стану в Україні [1-10] забезпечення вивчення навчальної дисципліни Автомобільна техніка за допомогою сучасних технологій можливо за напрямками використання мобільних додатків, вебдодатків, що навчають та через дистанційне онлайн-навчання з використанням системи управління навчанням (LMS – Learning Management Systems).

За можливістю використання мобільні- та веб-додатки можна поділити на ті, що за-безпечують поетапне (за розділами ПДР) та підсумкове (у обсязі теоретичного іспиту в сервісному центрі МВС) тестування (онлайн-платформи GREEN-WAY, Vodiy.ua, тощо) та ті, що

дозволяють лише режим імітації реального теоретичного іспиту в сервісному центрі МВС (онлайн-платформа Офіційні тести з ПДР України державного підприємства ІНФОТЕХ, Тестування з ПДР онлайн 2026 тощо). Мобільні- та вебдодатки з тестовими завданнями зі знання ПДР можуть дозволити самостійно готуватися до теоретичного іспиту у сервісному центрі МВС але, як правило, їх повний функціонал не завжди є безкоштовним [5, 6].

За умови надання повного доступу (платного використання) інтернет ресурси дозволяють у будь-який час з застосуванням 3D-ілюстрацій, що імітують реальні ситуації на дорозі вирішувати навчальні тестові завдання з вивчення ПДР, отримувати повний доступ до відеолекцій та до коментарів іншими викладачами тестових завдань, вести облік успішності проходження тестових завдань на кожному етапі навчання, активізувати навчання шляхом можливості змагань в знаннях з іншими учнями тощо [6, 8-10].

У ролі систем управління навчанням (LMS) у навчальному процесі ВВНЗ можуть бути застосовані навчальні інтернет-платформи та навчальне програмне забезпечення з відкритим доступом Moodle (навчальна платформа з відкритим кодом), що об'єднує науково-педагогічних працівників, адміністраторів і курсантів в єдину надійну, безпечну та інтегровану систему для створення персоналізованого навчального середовища, ILIAS (вільне програмне забезпечення LMS), що використовується переважно в навчальних програмах у рамках співпраці з НАТО (програма DEEP та ін.), власні (корпоративні) платформи, що розроблені або адаптовані до вимог військової безпеки (сервіс онлайн-навчання в "Армія+" та ін.) [6, 11].

За потребою, у режимі реального часу, для забезпечення проведення лекцій, семінарів та консультацій тощо можуть бути використані інструменти для онлайн-комунікацій Cisco Webex (як платформа з високим рівнем безпеки та надійності), BigBlueButton (безкоштовна інтернет-платформа з відкритим кодом для проведення онлайн-конференцій та вебінарів) яка може інтегруватися в Moodle або використовуватися окремо, Google Meet і Zoom (програми для проведення онлайн-конференцій та вебінарів) [6].

Для створення інтерактивного контенту з метою забезпечення вивчення навчальної дисципліни в сучасному форматі можуть бути застосовані інші програмні продукти таки як H5P (створення інтерактивного контенту з можливістю інтегрування у Moodle), LearningApps, Wordwall (створення ігрових та інтерактивних вправ з метою закріплення термінології та фактів), EdPuzzle, TedEd, Loom (створення відеоуроків, додавання питань безпосередньо у відео для контролю уваги, перевірки засвоєння матеріалу тощо) та ін. [6].

Розмаїття інструментів, особливості та реальні можливості їх застосування у конкретній ситуації вимагає від викладача гнучкого підходу до керування навчальним процесом.

В доповіді, запропоновано розроблені, на основі досвіду, підходи з використання сучасних мобільних та комп'ютерних технологій в умовах обмежень, які виникають під час військового стану. Вони допомагають вдосконалити організацію проведення занять з вивчення навчальної дисципліни Автомобільна техніка. Запропоновані підходи сприяють гнучкому та ефективному застосуванню мобільних інформаційних технологій для подолання об'єктивних (ситуативних) та персональних труднощів при опануванні матеріалу.

**Список використаних джерел**

1. Можаровський В. М. Російсько-українська війна: погляди, уроки, виклики. *Наука і оборона.* 2024. Вип. 2. С. 11-21. URL: https://doi.org/10.33099/2618-1614-2024-25-2-11-21 (дата звернення: 08.04.2026)

2. Хронологія російсько-української війни: етапи відсічі вторгнення рф. Інформаційне агентство АрміяInform, МО України. URL: https://armyinform.com.ua/2023/02/24/hronologiya-rosijsko-ukrayinskoyi-vijny / (дата звернення: 08.04.2026)

3. Про затвердження Порядку підготовки, перепідготовки і підвищення кваліфікації водіїв транспортних засобів. Постанова Кабінету Міністрів України від 20 травня 2009 р. № 487 (із змінами). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/487-2009-%D0%BF#Text (дата звернення: 08.04.2026)

4. Про затвердження Положення по підготовці водіїв та інших фахівців автомобільної

служби у Збройних Силах України та допуску їх до керування транспортними засобами. Наказ Міністерства оборони України від 10 січня 1997 р. № 5. (із змінами) URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0147-97#Text (дата звернення: 08.04.2026)

5. Правила дорожнього руху України. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306 (із змінами). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text (дата звернення: 08.04.2026)

6. Рогозін І.В., Пічугін І.М., Родюков, А.О., Яценко К.Г. Сучасні мобільні технології в системі підготовки курсантів до отримання посвідчення водія категорії С. *Освітній процес: Методика, досвід, проблеми*. 2025. Вип. 4 (178). С. 65-73.

7. Про затвердження Типової навчальної програми підготовки та перепідготовки водіїв транспортних засобів. Постанова Кабінету Міністрів України від 2 березня 2010 р. № 229 (із змінами). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/229-2010-%D0%BF#n12/ (дата звернення: 08.04.2026)

8. Дуфанець І.Б., Зеленюх О.М., Тимко А.Ю., Канчуга М.К. Тренувальні засоби навчання та методики їх використання під час курсу водіння автомобільної техніки. *Інноваційна педагогіка.* 2023. № 58. Том 1. С. 135-140. URL: https://doi.org/10.32782/26636085/2023/58.1.28

9. ПДР на відмінно. Кращі мобільні додатки та ігри з правилами дорожнього руху. ТОВ "ВИДАВНИЧИЙ ДІМ "МЕДІА-ДК". URL: https://techno.nv.ua/ukr/it-industry/-50024261.html. (дата звернення: 08.04.2026)

10. Сучасні соціальні технології в освіті : Колективна монографія / [[кол.авт.] за заг. ред. Наталії Сейко]. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2018. – 332 с.

11. Система дистанційного навчання Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. URL: https://moodle.hnups.mil.gov.ua/ (дата звернення: 08.04.2026)

***Рогозін Ігор Віталійович*** – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, e-mail: iv_r@ukr.net

***Пічугін Ігор Михайлович*** – канд. техн. наук, начальник кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, e-mail: im_p@ukr.net

***Новічонок Сергій Михайлович*** – канд. техн. наук, доцент, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, e-mail: newhobu4ohok@gmail.com

***Цибульський Олександр Віталійович*** – старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, e-mail: avtorao@ukr.net.

***Rohozin Ihor*** – Ph. D. (Eng), Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, e-mail: iv_r@ukr.net

***Pichugin Ihor*** – Ph. D. (Eng), Head of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, e-mail: im_p@ukr.net

***Novichonok Serhii*** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Lead Researcher of the Research Laboratory, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, e-mail: newhobu4ohok@gmail.com.

***Tsybulskyi Oleksandr*** – Senior Lecturer of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, e-mail: avtorao@ukr.net.

УДК 378.147:629.33

**Родюков А.О., Юхно В.А.**

# ЦИФРОВІЗОВАНА МОДЕЛЬ ДОПУСКУ ДО ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ: МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ VR-СИМУЛЯЦІЙ ТА ШТРАФНИХ ФУНКЦІЙ

*У досліджені вирішено актуальну науково-прикладну задачу об'єктивного оцінювання готовності студентів-інженерів до роботи в умовах дуальної освіти. Авторами розроблена математична модель інтегрального індексу готовності, яка базується на використанні нелінійних штрафних функцій за порушення протоколів безпеки та гіперболічної залежності від кількості спроб виконання завдань (коефіцієнт ретерації). Практичне застосування моделі дозволяє мінімізувати суб'єктивізм при допуску студентів до виробничої практики.*

***Ключові слова:*** *дуальна освіта, віртуальна реальність, автомобільний транспорт, індекс готовності, професійні компетенції.*

*The article addresses a relevant scientific and applied task of objective assessment of engineering students' readiness for practical activities within dual education. The authors developed a mathematical model of the integral readiness index, based on the use of non-linear penalty functions for safety protocol violations and a hyperbolic dependence on the number of attempts (reiteration coefficient). The practical application of the model allows for minimizing subjectivity in student admission to industrial internships.*

***Keywords:*** *dual education, virtual reality, automotive engineering, readiness index, professional competencies.*

Динамічний розвиток автомобільної галузі у 2026 році зумовлений масовим впровадженням електромобілів, інтелектуальних систем допомоги водієві (ADAS) та концепції Software-Defined Vehicles (SDV), висуває нові вимоги до вищої технічної освіти. Традиційні методи навчання не встигають за темпами оновлення технологічного стеку автовиробників. У цьому контексті дуальна освіта стає стратегічним інструментом, що дозволяє синхронізувати академічні знання з виробничими потребами. Проте перехід студента від теоретичного навчання до роботи з дорогими та потенційно небезпечними системами потребує створення безпечного адаптаційного етапу.

Метою роботи є обґрунтування стратегії дуальної підготовки інженерів-автомобілістів із впровадженням етапу віртуальної пропедевтики та математичної моделі оцінювання готовності до виробничої практики.

Авторами пропонується впровадження трирівневого циклу підготовки в межах дуальної форми навчання. Ключовим інноваційним елементом є віртуальна пропедевтика – система попереднього навчання у симульованому цифровому середовищі.

**Рівень 1 (LMS-симулятори):** Опанування логіки систем через хмарні платформи.

**Рівень 2 (Immersive VR):** Відпрацювання маніпуляційних навичок у VR-шоломах. Це дозволяє студенту багаторазово виконувати складні операції (наприклад, діагностику інвертора) у «середовищі без помилок» (Error-Safe Environment).

**Рівень 3 (Haptic feedback):** Використання тактильних рукавичок для відчуття зусилля затягування з'єднань, що важливо для мехатроніки.

Для розв'язання задачі об'єктивного оцінювання запропоновано використовувати інтегральний індекс готовності до переходу $I_{tr}$, що розраховується на основі об'єктивних логів VR-симулятора. Основна концепція моделі базується на трьох принципах: **Safety First** (пріоритет безпеки), **Stability** (стабільність навички) та **Efficiency** (продуктивність).

Для об'єктивізації процесу переходу студента з університету на підприємство розроб-

лено адаптивний алгоритм переходу (TRA). Центральним елементом алгоритму є Індекс готовності до переходу $I_{tr}$, що розраховується за формулою:

$$I_{tr} = \left(1 - \frac{E_c}{E_{\max}}\right)^2 \frac{1}{N}\left(\omega_1 A + \omega_2 \frac{T_{std}}{T_{act}}\right), \quad (1)$$

де $E_c$ – кількість критичних помилок, які в реальності призвели б до травмування або поломки агрегату;

$E_{\max}$ – кількість максимально можливих критичних помилок при виконанні операції;

$\left(1 - \frac{E_c}{E_{\max}}\right)^2$ – мультиплікативний коефіцієнт безпеки з квадратичною штрафною функцією, коли навіть незначна кількість критичних помилок нелінійно знижує підсумковий результат;

$\frac{1}{N}$ – індикатор стабільності (штраф за невпевненість та зайві спроби), який нівелює ефект випадкового успіху ( $N$ – кількість спроб виконання операції);

$\omega_1, \omega_2$ – вагові коефіцієнти точності та швидкості виконання операції відповідно, що визначаються експертним шляхом (наприклад, для роботи з електромобілями $\omega_2$ (безпека) має бути найвищим – близько 0,5);

$A$ – коефіцієнт точності (якості роботи), тобто відношення правильно виконаних кроків до загальної кількості кроків у VR-сценарії (від 0 до 1);

$T_{std}, T_{act}$ – стандартний та фактичний час виконання операції відповідно.

Згідно з алгоритмом, лише при досягненні значення $I_{tr} = 0{,}85$ студент отримує цифровий допуск до роботи з реальним автомобілем на виробництві. Прогнозне моделювання та аналіз поточної практики впровадження VR-симуляторів показують, що студенти, які пройшли етап віртуальної пропедевтики, демонструють на 40% вищу швидкість виконання робіт на першому місяці практики порівняно з тими, хто навчався за класичною схемою.

У запропонованій методиці реалізовано диференційований підхід до оцінювання відхилень. Помилки поділяються на корекційні (впливають на рівень професійної вправності та критичні (формують коефіцієнт ризику). Критична помилка класифікується як дія, що несе пряму загрозу життю персоналу або цілісності енергетичної установки автомобіля. Автоматизація цього процесу в VR-середовищі дозволяє формувати у студента стійкий "інстинкт безпеки" ще до виходу на реальне підприємство.

Для забезпечення безальтернативності дотримання протоколів безпеки, у модель введено мультиплікативний індикатор вето. Це дозволяє уникнути ситуації, коли високі показники операційної ефективності компенсують критичні порушення технологічної дисципліни. Таким чином, модель $I_{tr}$ перетворюється з лінійної системи оцінювання на інтелектуальну систему допуску, де безпека є необхідною, але не достатньою умовою успішної атестації.

Впровадження квадратичної залежності для коефіцієнта безпеки обумовлене необхідністю посилення дискримінаційної здатності моделі щодо критичних помилок. Це дозволяє реалізувати нелінійну штрафну шкалу, де кожне наступне порушення технологічного протоколу призводить до прогресуючого зниження інтегрального індексу готовності, що унеможливлює випадковий допуск непідготовленого персоналу до роботи з небезпечним обладнанням.

## Висновки

У ході дослідження розроблено та науково обґрунтовано модель оцінювання готовності студентів до практичної діяльності в умовах дуальної освіти. Розроблена модель дозволяє формувати об’єктивний «цифровий паспорт» студента. Використання квадратичних штрафів та коефіцієнта ретерації мінімізує ризики виробничого травматизму та пошкодження обладнання. Практична апробація показала скорочення терміну адаптації студентів на підприємстві

на 25-30%.

Перспективи подальших досліджень полягають в автоматизації динамічної зміни вагових коефіцієнтів моделі за допомогою нейронних мереж, що дозволить системі адаптуватися під індивідуальні особливості навчання кожного студента в реальному часі.

**Список використаних джерел**

1. Базиль Л. О., Орлов П. І. Моделювання професійних компетентностей фахівців автотранспортної галузі в умовах цифровізації. *Професійна освіта: проблеми і перспективи*. 2024. Вип. 28. С. 45–52.

2. Литовченко С. В. Методика використання VR-тренажерів у підготовці бакалаврів з автомобільного транспорту. *Інноваційна педагогіка*. 2025. № 72. С. 118–124.

3. Сидоренко В. К., Терещук Г. В. Математичне моделювання критеріїв відбору студентів для дуальної форми навчання. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка*. 2025. № 1. С. 34–41.

4. Ткачук В. В., Вакалюк Т. А. Автоматизація контролю знань у віртуальних навчальних середовищах: досвід та перспективи. Інформаційні технології і засоби навчання. 2023. Том 96, № 4. С. 210–225.

5. Gao Z., & Li W. Intelligent Assessment Systems in Vocational Education: A Mathematical Approach to Safety-Critical Tasks. International Journal of Engineering Education. 2025. Vol. 41(2). P. 567–580.

***Родюков Анатолій Олексійович*** – доцент кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, e-mail: avtorao@ukr.net

***Юхно Віталій Анатолійович*** – старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, e-mail: 1970uva@ukr.net

***Rodiukov Anatolii*** – Associate Professor of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, e-mail: avtorao@ukr.net

***Yukhno Vitalii*** – Senior Lecturer of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, e-mail:1970uva@ukr.net

УДК 629.1

**Сакно О.П., Клещевников Д.В., Лимар К.О.**

# ЗВ'ЯЗОК МІЖ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ (V2X) VEHICLE-TO-EVERYTHING. ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ В СУЧАСНУ ДОРОЖНЮ ІНФРАСТРУКТУРУ

*Дослідження полягає в огляді транспортних систем, які забезпечують обмін інформацією між дорожнім середовищем. Що значно дозволяє підвищити рівень безпеки дорожнього руху, зменшити кількість аварій та оптимізувати транспортні потоки.*
***Ключові слова:*** *підключений автомобіль, автономне керування, DSRC, C-V2X, безпека, V2X, дорожній рух, надійний зв'язок.*

*The study is an overview of transport systems that provide information exchange between the road environment. Which significantly allows to increase the level of road safety, reduce the number of accidents and optimize traffic flows.*
***Key words:*** *connected car, autonomous driving, DSRC, C-V2X, safety, V2X, road traffic, reliable communication.*

Сучасні технології все більше проникають у транспортну індустрію, змінюючи уявлення про безпеку та комфорт на дорогах. Одним із найперспективніших напрямків є технології V2X (vehicle-to-everything), що забезпечують комунікацію між автомобілями та навколишньою інфраструктурою. V2X охоплює взаємодію з різними елементами, включаючи інші транспортні засоби, пішоходів, світлофори, дорожні знаки, будівельні майданчики тощо. Це базова технологія для автономного водіння, що підвищує безпеку, ефективність та враження від водіння.

Забезпечення декілька систем зв'язку V2X має вирішальне значення для досягнення повного автономного водіння, оскільки вона покращує ситуаційну обізнаність автомобіля, що перевершує можливості таких датчиків, як радар, камера та лідар. Такі датчики необхідні для виявлення об'єктів у зоні прямої видимості, V2X створює те, що ми називаємо датчиком поза зоною прямої видимості, який може виявляти об'єкти без необхідності перебувати з ними в зоні прямої видимості. Більше того, технологія V2X може працювати за будь-яких погодних умов та умов освітлення, включаючи дощ, сніг, низьку видимість та за наявності перешкод

Дослідження показує, що автовиробники та розробники інфраструктури по всьому світу використовують дві різні технології бездротового зв'язку V2X, такі як спеціалізований зв'язок ближнього радіусу дії (DSRC) та стільниковий зв'язок V2X (C-V2X). Але, зв'язок ближнього радіусу втрачає свій технологічний підхід, так як використовує Wi-Fi в спектрі 5,9 ГГц для зв'язку, тоді як система CV2X є більш просунута технологія, яка використовує стільникові мережі, включаючи 5G, для більш комплексної екосистеми зв'язку (рис.1).

Налаштування зв'язку короткого радіусу дії (DSRC) є стандартом на основі IEEE 802.11p, який працює в діапазоні частот 5,9 ГГц. Він спеціально розроблений для зв'язку з низькою затримкою, зазвичай у діапазоні від 300….1000 метрів. DSRC розробляється вже понад два десятиліття та призначений переважно для зв'язку V2V та V2I. Завдяки цьому, можна виявити низьку затримку понад в 100 мс, що робить його придатним для критично важливих для безпеки застосувань, таких як запобігання зіткненням та екстрене гальмування. Цей метод дослідження був використанний в різних проектах у США, Японії та Європі. Він набрав популярності на ранніх етапах впровадження V2X, особливо для таких застосувань, як попередження про зіткнення на перехрестях та запобігання лобовим зіткненням.

Однією з ключових переваг DSRC є модернізація. Така довговічність призвела до високого рівня надійності та стабільності в його застосуваннях. Крім того, DSRC має вбудований механізм безпеки та конфіденційності, розроблений спеціально для автомобільного зв'язку, що забезпечує надійний захист з мінімальними обчислювальними витратами, що робить його

ефективним для бортових систем. Базування DSRC на відкритих стандартах ще більше підвищує його сумісність, забезпечуючи безперебійну комунікацію між різними виробниками транспортних засобів та постачальниками інфраструктури без блокування запатентованими технологіями. Крім того, DSRC характеризується низькою затримкою, що забезпечує зв'язок у режимі реального часу, що є важливим для критично важливих для безпеки застосувань, таких як запобігання зіткненням та екстрене гальмування.

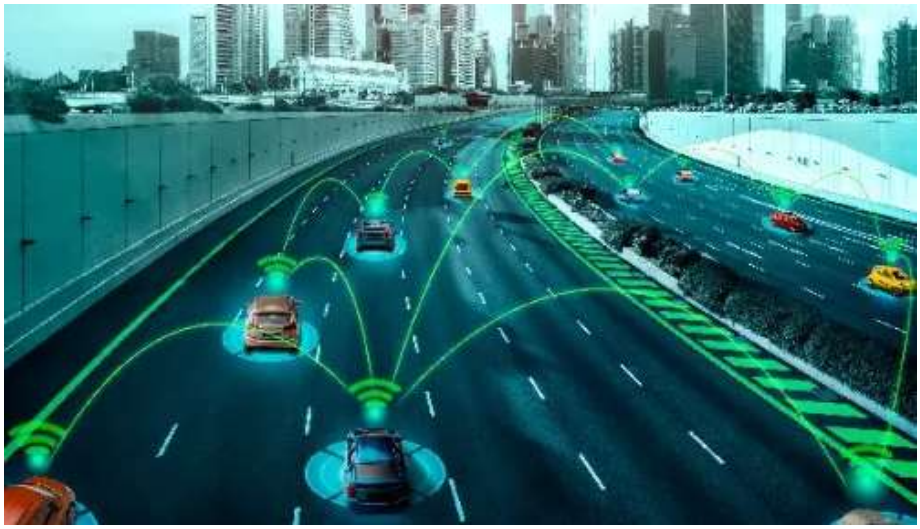


Рисунок 1 – Представлення забезпечення DSRC технології зв’язку V2X

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика C-V2X та DSRC

| Характеристика | DSRC | C-V2X |
|---|---|---|
| Зв’язок | IEEE 802.11p | 3GPP LTE та 5G |
| Спектр | 5.9 ГГц (виділений) | 5.9 ГГц (PC5), стільниковий зв’язок (Uu) |
| Відстань | 300 – 1000 метрів | До 2 км (PC5), широке покриття (Uu) |
| Затримка | <100 мс | <100 мс (PC5), залежить від мережі |
| Робота в умовах NLOS | Погіршується в умовах NLOS | Краща в NLOS завдяки стільниковому кодуванню |
| Масштабованість | Обмежена в щільному середовищі | Висока масштабованість завдяки стільниковим мережам |
| Безпека | Вбудовані протоколи безпеки | Шифрування та безпека на рівні стільникових мереж |
| Зрілість | Добре розвинена, використовується в пілотних проєктах | Розвивається, з перспективами покращення через 5G |
| Вартість впровадження | Потребує нових дорожніх пристроїв (RSU) | Використовує існуючу стільникову інфраструктуру |
| Перспективи | Невизначені через перерозподіл спектру | Перспективна завдяки сумісності з 5G |

Зробивши аналіз, визначили суттєві обмеження на дальність дії та проникнення в умовах відсутності прямої видимості (NLOS). Будівлі, рельєф місцевості та інші перешкоди можуть знижувати силу сигналу, роблячи його менш надійним у міських районах. Обмежена масштабованість є ще однією проблемою, оскільки DSRC працює у фіксованому спектрі пропускної здатності, що призводить до потенційного погіршення продуктивності в умовах щільного руху, де багато транспортних засобів намагаються одночасно спілкуватися. Крім того, у багатьох регіонах, особливо в США, виділений для DSRC спектр використовується недостатньо, що призводить до дискусії щодо перерозподілу частини цього спектру для інших цілей, що може вплинути на майбутнє розгортання DSRC.

Для забезпечення постійного зв'язку використовують новіший стандарт LTE та 5G проєкту C-V2X який пропонує два режими зв'язку, прямий та ближній зв'язок (інтерфейс PC5) та стільниковий зв'язок на великій відстані. Маючи ці засоби, C-V2X може підключатися до існуючої стільникової інфраструктури, що дозволяє йому покривати набагато більші відстані, ніж DSRC, що особливо вигідно для застосувань V2N, таких як динамічне управління трафіком та оновлення програмного забезпечення по повітрю.

Аналіз між DSRC та C-V2X, C-V2X здається кращою платформою для майбутнього підключеного транспорту, тоді як DSRC залишається надійним варіантом для конкретних, високо локалізованих застосувань V2X.

В підсумку технології V2X є важливим кроком до підвищення безпеки на дорогах і розвитку інтелектуальної транспортної системи. Незважаючи на виклики, пов'язані з конфіденційністю та витратами на інфраструктуру, переваги цієї технології роблять її невід'ємною частиною майбутнього автомобільної індустрії. Інтеграція V2X з безпілотними автомобілями також відкриває нові перспективи. Взаємодія автономних транспортних засобів між собою та з інфраструктурою може забезпечити безпомилкову координацію руху, зменшуючи кількість ДТП до мінімуму. Експерти прогнозують, що до 2028 року більшість великих міст світу будуть обладнані системами V2X, що дозволить значно підвищити безпеку та ефективність транспортної системи. Компанії-автовиробники, такі як Ford, BMW і Toyota, вже активно працюють над впровадженням цієї технології в свої моделі.

**Список використаних джерел**

1. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія: підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.

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

3. Інновації на дорогах: Як технології V2X підвищують безпеку та ефективність руху. https://centr-avto.com.ua/news/innovatsiyi-na-dorogah-yak-tehnologiyi-v2x-pidvyshhuyut-bezpeku-ta-efektyvnist-ruhu/

4. V2X Vehicle-to-Everything Communication – The Future of Autonomous Connectivity https://www.keysight.com/blogs/en/inds/auto/2024/10/03/v2x-post

5. Vehicle-to-Everything (V2X) Communications https://www.itskrs.its.dot.gov/success-strategies/snapshot/vehicle-everything-v2x-communications

***Сакно Ольга Петрівна*** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту Національного технічного університету «Дніпровська Політехніка» e-mail Sakno.O.P@nmu.one.

***Клещевников Данило Валерійович*** – студент групи 274-23-1 кафедри автомобільного транспорту Національного технічного університету «Дніпровська Політехніка» e-mail Kleshchevnykov.D.V@nmu.one

***Лимар Костянтин Олександрович*** – студент групи АТ-25-2 кафедри автомобільного транспорту Національного технічного університету «Дніпровська Політехніка» e-mail Lymar.Ko.O@nmu.one

***Sakno Olha*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport of the National Technical University "Dnipro Polytechnic" e-mail Sakno.O.P@nmu.one

***Kleshchevnykov Danylo*** – student of group AT-25-2 of the Department of Automobile Transport of the National Technical University "Dnipro Polytechnic" e-mail Kleshchevnykov.D.V@nmu.one

***Lymar Konstantin*** – student of group 274-23-1 of the Department of Automobile Transport of the National Technical University "Dnipro Polytechnic" e-mail Lymar.Ko.O@nmu.one

УДК 629.113

**Сахно В.П., Поляков В.М., Паламарчук О.В.**

# ДО АНАЛІЗУ КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ

*У перспективі на дорогах України можуть з'явитися триланкові автопоїзди повною масою 60 т. Проведеними на-сьогодні дослідженнями триланкових автопоїздів, що скомплектовані із стандартних модулів, загальною довжиною близько 25 м встановлено, що жодна з компонувальних схем за некерованих причіпних ланок не може забезпечити нормовані показники маневреності. При цьому і стійкість таких автопоїздів за величиною бічного прискорення J знаходиться на межі дозволеного ([Jmax=4,5]). Дослідженнями триланкових автопоїздів різних компонувальних схем, проведеними в НТУ, встановлено, що нормовані показники маневреності можна забезпечити за окремих керованих коліс (осей) усіх ланок автопоїзда за прямого та зворотного приводу управління і тільки передньою, або тільки задньою керованою віссю (колесами) – за подвійного приводу управління.*

***Ключові слова**: триланковий автопоїзд, компонувальна схема, причіпна ланка, маса, маневреність, привод управління*

*In the future, three-link road trains with a total weight of 60 tons may appear on the roads of Ukraine. The studies conducted to date on three-link road trains, which are assembled from standard modules, with a total length of about 25 m, have established that none of the layout schemes with unguided trailing links can provide standardized maneuverability indicators. At the same time, the stability of such road trains in terms of lateral acceleration J is at the limit of permissible ([Jmax=4.5]). Studies of three-link road trains of various layout schemes, conducted at NTU, have established that standardized maneuverability indicators can be provided with separate steered wheels (axles) of all links of the road train with direct and reverse steering drive and only the front or only the rear steered axle (wheels) - with dual steering drive.*

***Keywords**: three-link road train, layout diagram, trailing link, mass, maneuverability, control drive*

Відомо, що ефективність автомобільних транспортних засобів визначається масою перевезеного вантажу, середньою швидкістю руху і витратою палива. Збільшення вантажопідйомності і середньої швидкості руху - основні напрямки підвищення продуктивності (а значить, і ефективності) АТЗ. Ці напрямки реалізуються при створенні і виробництві нових АТЗ, а також при їхній експлуатації. Проте підвищення вантажопідйомності, а отже повної маси АТЗ можливо тільки до граничних значень, обумовлених чинними обмеженнями на осьові навантаження, повну масу і габаритні розміри. Тому можливі чотири основні напрямки підвищення вантажопідйомності автопоїздів [1]:

- підвищення граничних допустимих значень осьових навантажень;
- зменшення власної маси автопоїзда;
- збільшення числа осей дволанкових автопоїздів;
- збільшення числа ланок.

Підвищення вантажопідйомності за рахунок збільшення допустимого осьового навантаження АТЗ не є перспективним шляхом, тому що для його реалізації необхідна корінна реконструкція автомобільних доріг.

Збільшення числа осей дволанкових автопоїздів в умовах зберігання граничних значень осьових навантажень є реальним шляхом підвищення вантажопідйомності АТЗ. У Західній Європі найбільш розповсюджений магістральний автопоїзд – п'ятивісний, складається з двовісного автомобіля-тягача і тривісного напівпричепа [1].

Збільшення числа ланок автопоїздів для підвищення їхньої вантажопідйомності має реальну перспективу, підкріплену використанням ефективних систем керування причіпними

ланками. Для триланкових автопоїздів збільшення обмеження по довжині дозволяє застосувати «модульний» підхід. Крім використання стандартних кузовів, причепів та напівпричепів «модульні» перевезення передбачають використання контейнерів, які можна перевозити, як морем, так і наземним транспортом. Для таких перевезень концепція 25,25 м є максимально ефективною, оскільки така вантажівка перевозить три контейнери замість двох, які можна перевезти звичайним автопоїздом, і таким чином є на 30% ефективнішою [2].

Своєю появою триланкові автопоїзди завдячують модульній системі. Ця система є передписуючою і з'явилася, виходячи з існуючих параметрів транспортних засобів. Проте такий підхід включає в себе елементи PBS (Performance Based System), при застосуванні якої беруться до уваги характеристики нової концепції. Наразі Директива 96/53/ЕС переглядається та передбачає у майбутньому використання довгомірних вантажівок по всій Європі. Все це пояснюється тим, що завдяки використанню довгомірних триланкових автопоїздів при виконанні одного і того ж обсягу перевезень кількість поїздок та загальний пробіг у середньому зменшився на 32% у порівнянні з дволанковими автопоїздами, із мінімальною різницею для різних компаній перевізників. При порівнянні було з'ясовано, що у середньому витрата палива зменшується на 15%. Рівень викидів вуглекислого газу напряму залежить від витрати палива. Її зменшення також позитивно впливає на рівень викидів оксидів азоту NOX. Зменшення загального пробігу і кількості поїздок, безперечно, сприяє зменшенню шкідливого впливу на навколишнє середовище. Таким чином, можна стверджувати, що використання триланкових автопоїздів сприяє зменшенню викидів $CO_2$ у середньому на 15%, а також загалом покращує вплив автомобілів на навколишнє середовище. Крім того, зменшення транспортних витрат у середньому складає 23 % [1, 2].

Аналіз конструкцій існуючих автопоїздів показує широку різноманітність їх компонувальних схем. Як правило вони формуються з 2-х, 3-хвісних тягачів та 2-х, 3-хвісних причепів та напівпричепів. Перспективні автопоїзди формуються з подібних ланок, лише більшої габаритної довжини. В різних державах існують національні нормативи щодо габаритних розмірів та величини маси автотранспортних засобів, зокрема автопоїздів [3].

Серед багатьох компонувальних схем автопоїздів на європейських широтах найбільш розповсюджені такі триланкові схеми [3]:

1. Сідельно-причіпна. До складу цього автопоїзда входить сідельний тягач, тривісний напівпричіп та причіп з дво- тривісні причепи з наближеними осями або дво- тривісні причепи з рознесеними осями.

2. Причіпна. Автопоїзд цієї компоновки складається з автомобіля із вантажною платформою, стандартного тривісного європейського напівпричепа та двовісного підкатного візка «Dolly».

3. Сідельна (B-DOUBLE). Автопоїзд складається з сідельного тягача, спеціального напівпричепа (з вантажною платформою та тягово-зчіпним пристроєм) та тривісного напівпричепа.

Перспективною для використання на дорогах Європи є причіпна з використанням підкатного візка «Dolly». Автопоїзд цієї компоновки складається з автомобіля із вантажною платформою, стандартного тривісного європейського напівпричепа та двовісного підкатного візка «Dolly». Підкатний візок «Dolly» - це безмоторний причіп, який можна приєднувати до вантажівок і напівпричепів. Він не перевозять вантаж, а використовуються для підтримки напівпричепа або подібного вантажного автомобіля. Цей візок (також відомий як візок-перетворювач) зазвичай має одну, дві або три осі, шарнірне дишло та поворотну платформу для кріплення до напівпричепа. Візки, які використовуються в автопоїздах, виготовляються зі сталі надвисокої міцності та мають власні гальмівні системи, а також світодіодні бічні маркери та задні ліхтарі [2].

Особливу увагу в конструкції триланкових автопоїздів приділяють конструкції причіпного складу, а саме підвищенню вантажопідйомності, збільшенню розмірів вантажних платформ, збільшенню числа осей і використанню уніфікованих вузлів і агрегатів.

Можливими шляхами підвищення продуктивності стали: зниження власних мас і збільшення вантажопідйомності причепів і напівпричепів. Зниження власної маси досягається удосконаленням конструкції причіпного складу й агрегатів (вузлів). Усе більш широке застосування знаходять якісні сталі, легкі сплави і пластики. Значна частина власної маси причепів і напівпричепів приходиться на раму, тому її полегшенню приділяється велика увага. Рами звичайно виготовляють з якісних сталей, а лонжерони рам – з фасонного прокату [3].

Усе більш широке застосування знаходить пневматична підвіска, як більш ефективна в порівнянні з ресорною. Пневматична підвіска має меншу масу і габаритні розміри, забезпечує більш рівномірне зчеплення шин з поверхнею дороги, зберігає дорожнє покриття, знижує рівень шуму при русі, має можливість забезпечення постійного кліренсу, найбільш оптимальна при навантаженні і розвантаженні в системі контейнерних перевезень. Розроблена система електронного керування пневматичною підвіскою – ECA, дозволяє знизити витрату повітря, компенсувати просідання шин, захищає від надмірного навантаження, допомагає при рушанні з місця і забезпечує керування піднімальною віссю.

Усе частіше використовуються одинарні широкопрофільні шини замість подвійних, що крім зниження маси приводить до зниження опору кочення причіпних ланок і зменшенню експлуатаційних витрат (зменшується витрата палива автопоїздом на 3%).

Напівпричепи випускають з числом осей від однієї до трьох. Для міських перевезень використовують, як правило, одноосьові причепи, а двох- і тривісні – для міжміських і міжнародних перевезень.

Ведучими виробниками причіпної техніки є компанії K&gel, Krone і Schmith. Об'єм їхніх продаж складає біля половини всього європейського ринку. Продукція цих фірм займає помітне місце і на ринку України [4].

Автопоїзди повною масою 60 т можуть з'явитися і в Україні. З метою максимальної відповідності автопоїздів конкретним умовам експлуатації, можливості формування автопоїздів великої вантажопідйомності з наявного рухомого складу без суттєвої зміни його конструкції застосовують модульний принцип їх формування. У такому випадку автопоїзд, як модульна система, складається з автомобіля-тягача (сідельного або загального призначення), вантажної платформи (здебільшого спеціалізованої), ходових візків причіпних

Проведеними на-сьогодні дослідженнями триланкових автопоїздів, що скомплектовані із стандартних модулів, загальною довжиною близько 25 м, встановлено, що жодна з компонувальних схем за некерованих причіпних ланок не може забезпечити нормовані показники маневреності, табл. 1, так як зовнішній радіус повороту ($R_{зг}$), зміщення траєкторії причепа, напівпричепа щодо траєкторії тягача ($C$) перевищують допустимі. При цьому і стійкість триланкових, як і дволанкових причіпних автопоїздів знаходиться на межі дозволеного ([$J_{max}$=4,5 м/с$^2$]) [5-7].

Таблиця 1 – Габаритна смуга руху і бічні прискорення автопоїздів

| Автопоїзд/ параметри | $R_{зг}$ по сліду коліс,м | $R_{зг}$, м | ГСР, м | J, м/с$^2$ (тягач) | $C$, м | J, м/с$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3-ланковий на підкатному візку | 12,76 | 13,24 | 7,94 | 3,23 | 4,34 | 3,94 |
| 3-ланковий сідельно-причіпний | 12,45 | 12,93 | 7,63 | 2,18 | 3,98 | 2,67 |
| 3-ланковий типу B-double | 12,52 | 13,02 | 7,72 | 2,56 | 2,65 | 2,59 |
| 2-ланковий сідельний | 11,87 | 12,48 | 7,18 | 2,27 | 2,05 | 2,15 |
| 2-ланковий причіпний з причепом з наближеними осями | 12,05 | 12,58 | 7,28 | 2,96 | 2,32 | 4,13 |
| 2-ланковий причіпний з причепом з рознесеними осями | 11,54 | 12,36 | 7,06 | 3,25 | 2,15 | 4,76 |

Поліпшити маневреність автопоїздів можливо за введення в їх конструкцію керованих

причіпних ланок. Дослідженнями триланкових автопоїздів різних компонувальних схем, проведеними в НТУ, встановлено, що нормовані показники маневреності можна забезпечити за окремих керованих коліс (осей) усіх ланок автопоїзда за прямого та зворотного приводу управління і тільки передньою, і тільки задньою керованою віссю (колесами) – за подвійного приводу управління, табл. 2.

Таблиця 2 – Габаритні радіуси повороту і ГСР триланкового автопоїзда з керованим напівпричепом за подвійного приводу управління на його передню вісь

| Тип триланкового автопоїзда | $R_{зг}$, м | $R_{вг}$, м | $B_г$, м |
|---|---|---|---|
| Причіпний на підкатному візку “dolly” | 12,5 | 5,357 | 7,143 |
| Сідельно-причіпний з причепом з наближеними осями | 12,5 | 5,475 | 6,825 |
| Сідельно-причіпний з причепом з рознесеними осями | 12,5 | 5,502 | 6,798 |
| Автопоїзд типу “B-double” | 12,5 | 5,419 | 7,081 |

**Список використаних джерел**

1. Сахно В.П., Поляков В.М. Перспективи використання в Україні дво- та триланкових автопоїздів для міжміських та міжнародних перевезень вантажів Автошляховик України. – 2003. -№6. – С.133-134.

2. Шкварко К.В. Довгомірні трьохланкові автопоїзди – новий етап розвитку автомобільних перевезень в Україні на шляху до Європи / К.В.Шкварко //Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: Науковий журнал. Вип. 17. – К.: НТУ, ТАУ, 2003. – С. 146-152.

3. Сахно В.П. До питання використання триланкових автопоїздів в Україні / В.П.Сахно, Р.М.Кузнєцов, О.А.Енглезі // Атошляховик України.–2005.–№5.– С. 13-16.

4. Сахно В.П. До питання безпечності конструкції триланкових автопоїздів / В.П.Сахно, І.Ф.Вороніна, Р.М.Кузнецов, В.В.Стельмащук, К.В.Шкварко // Автошляховик України. Окремий випуск. Управління безпекою на автомобільному транспорті.: Київ 2004. – С. 62-67.

5. Sakhno V. Determination of movement stability of especiality large class hybrid bus with active trailer/V.Sakhno, V. Poljakov, I.Myrovany, V.Seleznov//INMATEN – Agricultural engineering. – Vol.49/ No2/2016. – P. 107-118.

6. V. Sakhno, et al. To the comparative evaluation of three-unit lorry convoys of the different component systems by maneuverability// Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Transport Volume 121 2023 p-ISSN: 0209-3324 e-ISSN: 2450-1549 DOI: https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.121.12 Journal homepage: http://sjsutst.polsl.pl

7. В.М.Поляков, В.П.Сахно. Триланкові автопоїзди. Маневреність. Київ. Національний транспортний університет. 2013. – 200 с.: іл.

***Сахно Володимир Прохорович*** – д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобілів Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 306, e-mail: svp_40@ukr.net)

***Поляков Віктор Михайлович*** – к.т.н., доцент, професор кафедри автомобілів Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 306, e-mail: poljakov_2006@ukr.net)

***Паламарчук Олексій Васильович*** – аспірант кафедри автомобілів Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 306, e-mail: alex-magtrans@ukr.net)

***Volodymyr Sakhno*** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Automobiles of National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko St., 1, room 306, e-mail: svp_40@ukr.net)

***Victor Poliakov*** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automobiles of National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko St., 1, room 306, e-mail: poljakov_2006@ukr.net)

***Oleksiy Palamarchuk*** – postgraduate student of the Department of Automobiles of the National Transport University (01010, metro Kiev, M. Omelyanovicha-Pavlenka St., 1, room 306, e-mail: alex-magtrans@ukr.net)

УДК 656.13: 681.518

**Сахно В.П., Шарай С.М., Рой М.П., Поляков В.М.**

# ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ В ПРОЦЕСАХ ВИКОНАННЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ РУХОМИМ СКЛАДОМ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

*Підвищення конкурентоздатності транспортних підприємств та забезпечення стабільного розвитку на довгостроковий період пов'язане із формуванням їх конкурентних переваг на ринку міжнародних автомобільних перевезень. Для досягнення цієї мети доцільним є впровадження комплексу сучасних цифрових рішень, які б позитивно впливали на підвищення ефективності виконання міжнародних перевезень вантажів.*
***Ключові слова:*** *цифровізація, транспортне підприємство, міжнародні автомобільні перевезення вантажів, транспортно-логістичний процес, електронний документ, цифрове рішення, хмарна платформа.*

*Increasing the competitiveness of transport enterprises and ensuring their stable development in the long term is associated with the formation of their competitive advantages in the international road transportation market. To achieve this goal, it is advisable to implement a set of modern digital solutions that would positively affect the efficiency of international cargo transportation.*
***Key words:*** *digitalization, transport enterprise, international road cargo transportation, transport and logistics process, electronic document, digital solution, cloud platform.*

Застосування новітніх технологій та цифровізація процесів при виконанні міжнародних вантажних автомобільних перевезень дозволяє підвищити їх ефективність і може розглядатись як конкурентна перевага при розробці стратегії діяльності підприємств транспорту. Впровадження сучасних інформаційних систем і цифрових технологій в процеси управління ланцюгами постачань на усіх етапах транспортного процесу забезпечує прозорість та контроль за виконанням доставки вантажів.

Наукова література висвітлює різноманітні підходи до організації міжнародних автомобільних перевезень вантажів та методи підвищення їх ефективності, акцентуючи увагу на можливостях застосування інноваційних цифрових рішень, які сприяють оптимізації перевезень, підвищенню їх безпеки та якості і ефективності обслуговування замовників транспортних послуг.

Питання цифровізації процесів виконання міжнародних вантажних автомобільних перевезень розглядаються у працях ряду вітчизняних науковців [1-5]. Одним із ключових напрямів цифровізації є перехід до електронних документів, зокрема e-CMR та e-TIR, що дозволяє скоротити витрати на виконання митних процедур та оформлення документів. Важливим є впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS), що передбачають використання GPS, блокчейн-технологій, електронних дозволів та систем управління парком транспортних засобів. Увага приділяється використанню електронних систем «Шлях» (електронний сервіс для оформлення ліцензій, дозволів і взаємодії перевізників із Державною службою з безпеки на транспорті), «є-Черга» (управління чергами транспортних засобів на кордоні через онлайн-реєстрацію); WiM (система контролю габаритних та вагових параметрів транспортних засобів у русі без зупинок), е-ТТН (електронна товарно-транспортна накладна, яка поступово замінює паперовий документообіг). Розглядається вплив цифрових технологій на розвиток транспортно-логістичних процесів та новітніх технологій, що забезпечують ефективність управління ланцюгами постачань, таких, як система Goods-to-Person (G2P), система інтернет речей (IoT), штучний інтелект тощо. Дослідження сучасних цифрових інструментів і технологій, які застосовуються для підвищнння ефективності виконання міжнародних вантажних перевезень показали, що найбільшу ефективність для транспортних підприємств мають TMS-платформи (Transportation Management System), системи AI-маршрутизації, електронні транспортні

накладні e-CMR, цифрові тахографи, хмарні рішення для документообігу та технології супутникового моніторингу.

Цифровізація транспортно-логістичних процесів є ключовою передумовою підвищення ефективності міжнародних перевезень, оскільки забезпечує прозорість виконання транспортно-логістичних операцій, точність планування та впливає на скорочення загальних витрат. Сучасні цифрові рішення сприяють оперативному реагуванню на зміни в зовнішньому середовищі в контексті його впливу на ситуацію на ринку транспортних послуг, сприяють підвищенню рівня безпеки виконання перевезень, мінімізації негативного впливу людського фактору. Впровадження таких технологій дозволяє оптимізувати роботу підприємства та підвищити його конкурентоспроможність.

Для підвищення ефективності виконання вантажних автомобільних перевезень у міжнародному сполученні транспортному підприємству доцільно впроваджувати комплекс сучасних цифрових рішень, зокрема системи GPS-моніторингу та управління парком автотранспортних засобів, електронні товарно-транспортні накладні (е-ТТН, е-CMR), а також алгоритми штучного інтелекту, такі як хмарна платформа Omniful із ресурсом модуля TMS, для оптимізації маршрутів і завантаження транспортних засобів. Її використання дозволяє забезпечувати повну цифровізацію в управлінні транспортно-логістичним процесом від етапу прийняття замовлення на виконання перевезення вантажу, контролю руху транспортного засобу на всіх ділянках маршруту, до завершального етапу доставки вантажу кінцевому споживачу. Основна перевага зазначеної хмарної платформи полягає в її комплексному підході до управління ланцюгом постачань, інтегруючи процеси, які пов'язані із формуванням та плануванням маршруту, контролем виконання рейсу, обліком вантажу, взаємодією із замовником. На рис. 1 наведена схема етапів впровадження платформи Omniful з метою цифровізації процесу доставки вантажу.

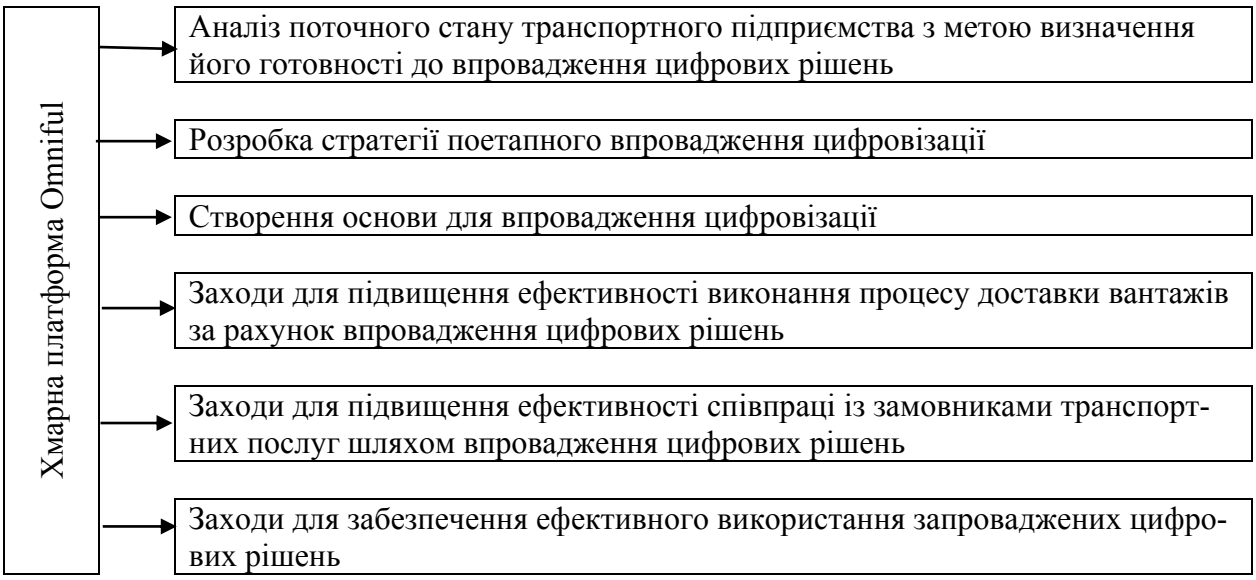



Рисунок 1 – Етапи використання хмарної платформи Omniful для впровадження цифровізації в процеси доставки вантажу

На першому етапі, під час аналізу поточного стану готовності підприємства до впровадження цифровізації, платформа Omniful може бути використана для збору та узагальнення даних, які дозволяють оцінити рівень наявної автоматизації транспортно-логістичних процесів на підприємстві, виявити в них ймовірний вплив негативних чинників та визначити пріоритети для подальшої цифровізації.

На етапі розробки стратегії поетапного впровадження цифровізації та планування заходів, які б забезпечували цей процес, платформа дозволяє сформувати стратегію впро-

вадження цифрових інструментів для моделювання логістичних потоків, побудови оптимальних графіків руху автотранспортного засобу та роботи водія при виконанні оборотного рейсу.

На етапі створення основи для впровадження цифровізації платформа забезпечує встановлення та інтеграцію ключових цифрових модулів для відстеження місцезнаходження автотранспортного засобу в режимі реального часу, для управління його завантаженням та графіком руху на маршруті, для оформлення супровідних документів з метою скорочення часу їх обробки. Розглядається можливість використання таких модулів, як GPS-моніторинг парку рухомого складу, TMS-модуль, електронний документообіг (e-CMR, e-ТТН).

На етапі розробки заходів для підвищення ефективності виконання процесу доставки вантажів, якими передбачається вирішення задач з оптимізації маршрутів, визначення показників виконання оборотного рейсу, його тривалості та загальних витрат, платформа використовує алгоритми штучного інтелекту (AI) для формування та вибору ефективних маршрутів, скорочення непродуктивного пробігу та зменшення витрат на паливо.

На етппі розробки заходів для підвищення ефективності співпраці із замовниками транспортних послуг платформа пропонує різні цифрові канали взаємодії, які забезпечують прозорість виконання процесу доставки для замовників.

На етапі забезпечення ефективного використання запроваджених цифрових рішень платформа пропонує інтерактивні навчальні матеріали для працівників підприємства та онлайн-підтримку, що спрощує їхню адаптацію до роботи із новими цифровими інструментами.

Застосування цифровізації в процесах виконання перевезень вантажів рухомим складом автомобільного транспорту дозволяє створити інтегровану інформаційну систему для управління транспортно-логістичним процесом доставки вантажів, зокрема, при виконанні перевезень у міжнародному сполученні, завдяки чому підвищується ефективність його виконання та якість обслуговування замовників, зменшуються витрати на виконання оборотного рейсу, його тривалість. Впровадження цифрових рішень у діяльність транспортних підприємств, які прагнуть підвищити свою конкурентоспроможність на ринку міжнародних транспортних послуг, послуговує інструментарієм при розробці обґрунтованих управлінських рішень для оптимізації транспортно-логістичних операцій.

**Список використаних джерел**

1. Подригало, М. А., Абрамов, Д. В., Коробко, А. І. Цифрова трансформація міжнародних автомобільних вантажних перевезень, сучасні виклики, бар'єри та перспективи розвитку. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2025. № 30(3). С. 32-37. doi: 10.18664/ikszt.v30i3.351288.

2. Демченко, Є. Б., Дорош, А. С., Сковрон, І. Я., & Баланов, В. О. (2023). ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ТА СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОННІ СЕРВІСИ У СФЕРІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ. *Транспортні системи та технології перевезень*, (25), 70–83. https://doi.org/10.15802/tstt2023/284496.

3. Марінов, Є. А. (2024). Інноваційні технології у транспортній логістиці: економічний потенціал і виклики впровадження. *Академічні візії*, (30). URL: https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1367.

4. Sumets, O. (2024). Informational and digital technologies to ensure the automation of the transport and logistics processes for the service of trading channel. *Journal of Innovations and Sustainability*, *8*(1), 06. https://doi.org/10.51599/is.2024.08.01.0

5. Демченко, Є. Б., Дорош, А. С., & Сковрон, І. Я. (2022). СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ НА РИНКУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ УКРАЇНИ. *Транспортні системи та технології перевезень*, (23), 79. https://doi.org/10.15802/tstt2022/261660

***Сахно Володимир Прохорович*** – д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобілів Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 306, e-mail: svp_40@ukr.net)

***Шарай Світлана Михайлівна*** – к.т.н., доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 437, e-mail: svetasharai@gmail.com)

***Рой Максим Петрович*** – доктор філософії, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 437, e-mail: 7569027@ukr.net)

***Поляков Віктор Михайлович*** – к.т.н., доцент, професор кафедри автомобілів Національного транспортного університету (01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 306, e-mail: poljakov_2006@ukr.net)

***Volodymyr Sakhno*** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Automobiles of National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko St., 1, room 306, e-mail: svp_40@ukr.net)

***Svitlana Sharai*** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of International Transport and Customs Control of National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko St., 1, room 437, e-mail: svetasharai@gmail.com)

***Maksym Roi*** – Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transport and Customs Control of National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko St., 1, room 437, e-mail: 7569027@ukr.net)

***Victor Poliakov*** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automobiles of National Transport University (01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko St., 1, room 306, e-mail: poljakov_2006@ukr.net)

УДК 621.43:620.178.16

**Свідерський В.П., Пірог Л.В., Медведчук О.М.**

# ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ АВТОМОБІЛЯ

*Одним з основних чинників підвищення терміну служби двигунів внутрішнього згоряння є зносостійкість рухомих сполучень, що залежить не тільки від металофізичних характеристик поверхонь тертя, а також від властивостей мастильного матеріалу. В умовах фізико-хімічної взаємодії мастильного матеріалу з поверхнями тертя рухомих сполучень одним із напрямів підвищення зносостійкості є трибомодифікація їхньої зони тертя шляхом формування металовмісних антифрикційних та протизносних плівок.*

***Ключові слова:*** *моторні оливи, система мащення двигуна внутрішнього згоряння, зносостійкість, коефіцієнт тертя, металовмісні плівки.*

*One of the main factors in increasing the service life of internal combustion engines is the wear resistance of moving joints, which depends not only on the metallophysical characteristics of the friction surfaces, but also on the properties of the lubricant. In the conditions of physicochemical interaction of the lubricant with the friction surfaces of moving joints, one of the directions for increasing wear resistance is the tribomodification of their friction zone by forming metal-containing antifriction and antiwear films.*

***Key words:*** *motor oils, internal combustion engine lubrication system, wear resistance, friction coefficient, metal-containing films.*

Розвиток сучасного автомобілебудування, транспортного машинобудування нерозривно пов'язаний з удосконаленням конструкції та зростанням потужностей двигунів внутрішнього згоряння.

Термін служби вантажних і легкових автомобілів багато в чому визначається зносостійкістю важко навантажених трибосполучень. У двигунах внутрішнього згоряння – це насамперед зношування деталей циліндропоршневої групи, вкладишів, пари: кулачок – товкач механізму газорозподілу.

Підвищення терміну служби двигунів внутрішнього згоряння, економія паливно-мастильних матеріалів і захист навколишнього середовища є важливим технічним завданням. Одним з основних чинників при цьому є зносостійкість рухомих сполучень, що залежить не тільки від металофізичних характеристик поверхонь тертя, а й від властивостей мастильного матеріалу.

Метою дослідження є підвищення зносостійкості трибосполучень двигуна внутрішнього згорання автомобіля.

Завдання дослідження: розробити методику та виконати експериментальні дослідження зносостійкості металевих пар у моторних оливах.

Фізичний та хімічний стан поверхневих шарів вузлів і деталей транспортних механізмів вважається одним із найважливіших факторів, що визначають експлуатаційні властивості трибовузлів [1]. Зовнішнє тертя між двома твердими тілами неможливе без проміжного плівкового шару, який формує позитивний градієнт механічних властивостей у напрямку вглиб матеріалу. Цей проміжний шар виникає у зоні тертя під дією механічних, фізичних і хімічних процесів, штучно нанесених покриттів або впливу атмосфери. Встановлено, що вплив навколишнього середовища на поверхню металу спричиняє утворення на сталі оксидної плівки товщиною приблизно $(10–20)\cdot10^{-10}$ м [1]. Якщо в мастилі присутні полярні групи, на поверхнях тертя можуть формуватися адсорбційні плівки товщиною до (0,05–0,1) мкм. Такі адсорбційні шари здатні витримувати високі нормальні тиски, але при підвищенні температури їх орієнтація порушується. Для підвищення антифрикційних властивостей і зносостійкості мастильних

композицій у них додають присадки, що містять фосфор, азот, сірку, хлор та інші елементи [2]. При контакті з металевими поверхнями ці присадки утворюють шари, що складаються з хімічних сполук і виконують роль оксидних плівок.

Мастила, які містять органічні сполуки, утворюють на поверхнях тертя полімерні плівки. Під час формування полімерної плівки молекули присадки створюють із атомами металу координаційний зв'язок, утворюючи метал-полімерний комплекс, який міцно закріплюється на поверхні.

У цьому процесі мастильний матеріал виконує передусім транспортну функцію – переносить присадку в зону тертя, а ефективність присадки визначається властивостями утвореної трибополімерної плівки. Товщина такої плівки зазвичай становить 1–3 мкм.

Досліджено, що композиції з вмістом металів покращують триботехнічні властивості сталевих пар тертя [3].

Трибомодифікація поверхонь тертя металевих пар у моторних оливах забезпечує зниження коефіцієнта тертя та підвищення зносостійкості рухомих сполучень. Встановлено, що під час зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторній оливі з олововмісною мастильною композицією на поверхнях тертя утворюється захисна алюмінійвмісна плівка, а під час роботи пар сталь-сталь, чавун-сталь – олововмісна плівка, наявність яких призводить до підвищення якості поверхневих шарів трибосполучень [4].

Проведені стендові дослідження впливу мастильних матеріалів на триботехнічні властивості пари поршневе кільце–гільза двигунів внутрішнього згоряння.

У досліджуваних парах зразок з меншою поверхнею тертя, що імітує поршневе кільце, утримувався нерухомо і до нього прикладалось навантаження. Цей зразок вирізаний із реального поршневого кільця діаметром 110 мм. Рухомий зразок мав більшу поверхню тертя, вирізаний із чавунної гільзи циліндра діаметром 120 мм та імітував гільзу. Рухомий зразок здійснював зворотньо-поступальний рух відносно нерухомого зразка з середньою швидкістю ковзання 0,19 м/с. Завдяки різниці діаметрів кілець та гільз контакт відбувається у середині робочої поверхні. Компресійні кільця виготовлені зі сталі 50 ХФА з хромовим покриттям, а матеріал гільзи циліндра – чавун СЧ24.

Вимірювання сили тертя здійснювали тензометричною системою. Для обчислення коефіцієнта тертя використовували співвідношення між силою тертя та силою нормального тиску.

Перед експериментами пари тертя припрацьовували на протязі семи годин навантаженням 2–5 МПа. Дослідження виконували у ванночках з випробовуваними оливами при повному зануренні робочих поверхонь у мастильні матеріали. Після завершення припрацювання і роботи при кожному тиску зразки вилучали, очищали бензином та просушували. Використовуючи вертикальний оптиметр на зразках – кільцях вимірювали лінійні розміри (точність вимірювання ±0,001 мм).

Для отримання порівняльних триботехнічних характеристик мастильних матеріалів пари тертя досліджували при поступово підвищених тисках: з 10 до 60 МПа через 5 МПа, а з 60 до 140 МПа через 10 МПа. Визначення гранично допустимих тисків для кожного випробовуваного мастила здійснювали за ознаками підвищення коефіцієнта тертя, інтенсивності зносу чи виникнення вібрацій та скрипів. У якості критерія зносостійкості було прийнято інтенсивність зношування:

$$I = \frac{h}{L} \qquad (1)$$

де: h – величина зношеного шару матеріалу, мм; L – шлях тертя м.

При роботі трибологічних сполучень швидкісний навантажувальний режим чинить досить великий вплив на інтенсивність та характер протікання механічних і фізико-хімічних процесів в контактуючій зоні. У зв'язку з порушенням неперервності контакту одним із головних параметрів умов тертя та зношування рухомих сполучень є питомий тиск. Підвищення питомого тиску приводить до росту глибини поверхневого шару матеріалу, який безпосередньо

приймає участь в процесі тертя, а це має найважливіший вплив на триботехнічні характеристики трибосполучень.

Вплив моторних мастил на тертя та зношування пари алюмінієвий сплав-сталь від питомого навантаження досліджували на шляху тертя 2000 м при швидкості ковзання 1 м/с та в діапазоні 5–20 МПа. У якості об'єктів дослідження були взяті наступні мастильні оливи: моторну оливу М14В2, моторну оливу М14В2 з мідьвмісною присадкою Валена (0,1 %), моторну оливу Shell Helix Super, а також моторну оливу М14В2 з олововмістною мастильною композицією.

Згідно рекомендацій оптимальний вміст олововмісної мастильної композиції у моторній оливі М14В2 становить 2–4 % від об'єму [5]. У виконаних дослідженнях олововмісну мастильну композицію додавали до моторної оливи в кількості 2,5 % від загального об'єму.

В процесі зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторній оливі М14В2 з 2,5 % олововмісної мастильною композиції в діапазоні питомих навантажень 5–15 МПа значення коефіцієнта тертя складало – 0,009. У випадку підвищення питомого навантаження до 20 МПа фіксували збільшення коефіцієнта тертя до 0,02.

Результати досліджень інтенсивності зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оливах наведено на рис. 1.

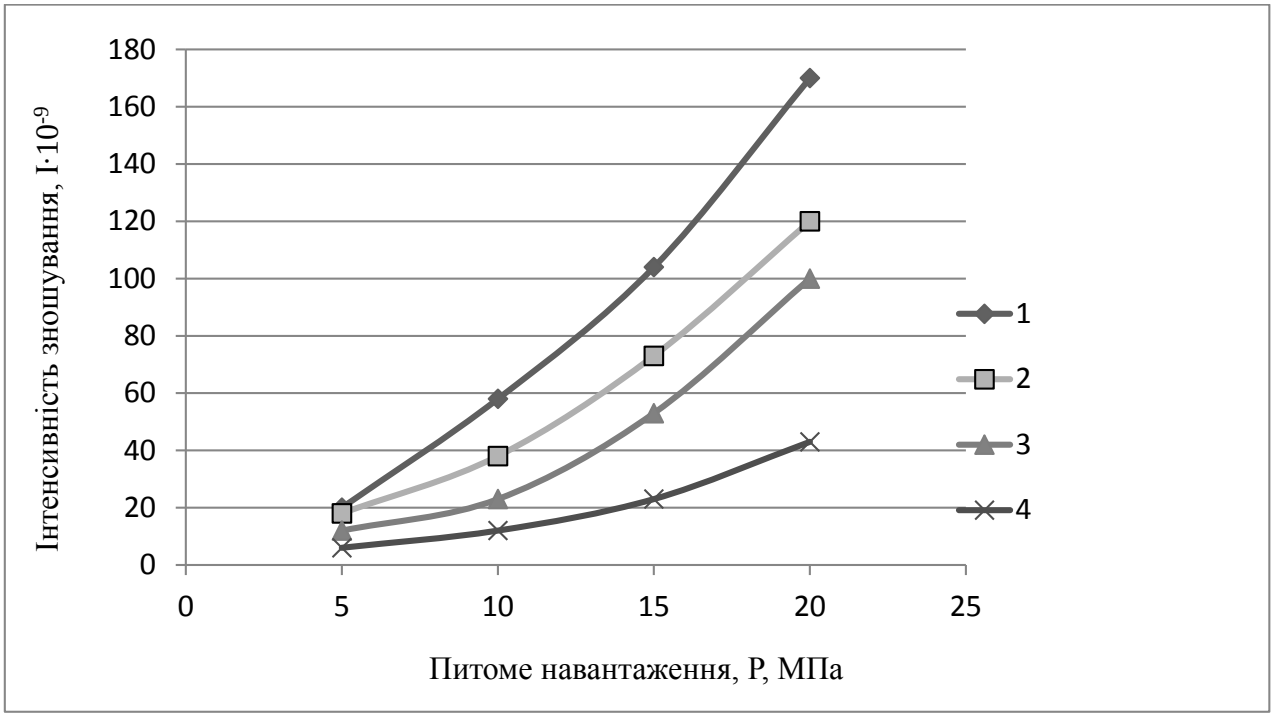



Рисунок 1 – Залежність інтенсивності зношування від питомого навантаження пари алюмінієвий сплав-сталь у мастильних матеріалах: 1 –моторна олива М14В2, 2 – моторна олива М14В2+0,1 % мідьвмісної присадки, 3 – олива Shell Helix Super, 4 –моторна олива М14В2 + 2,5 % ололвовмісної мастильної композиції.

Аналіз одержаних даних показав, що підвищення питомого навантаження від 5 до 20 МПа приводить до збільшення інтенсивності зносу пари колодка-ролик. Найбільша інтенсивність зношування спостерігалась у пари алюмінієвий сплав–сталь, що працювала у моторній оливі М14В2. Введення мідьвмісної присадки до моторної оливи забезпечує зменшення інтенсивності зношування пари колодка – ролик у 1,4 раза в дослідженому діапазоні питомих навантажень. Використання оливи Shell Helix Super забезпечує нижчі значення інтенсивності зношування пари алюмінієвий сплав – сталь, ніж у випадку пари колодка – ролик у базовій оливі М14В2 та оливі з мідьвмісною присадкою.

Введення у моторне мастило олововмісної композиції приводить до підвищення зносостійкості пари алюмінієвий сплав-сталь. Інтенсивність зношування пари колодка-ролик в моторній оливі М14В2 з 2,5 % олововмісної композиції у діапазоні питомих навантажень 5–20 МПа найнижча в порівнянні з іншими досліджуваними мастильними матеріалами.

Таким чином, випробування зносостійкості пари кільце-гільза показали, що при введенні в моторну оливу олововмісної мастильної композиції на порядок зменшується інтенсивність зношування металевих пар у порівнянні з їхньою роботою в базовому мастильному матеріалі. Окрім того, знижується у два рази коефіцієнт тертя.

Розроблено практичні рекомендації щодо оптимальних експлуатаційних режимів, які забезпечують формування металовмісних плівок на поверхнях тертя у моторних оливах.

**Список використаних джерел**

1. Глущенко Л. А. Теорія і практика змащувальних матеріалів / Глущенко Л. А. – Київ: Наукова думка. – 2020. – 225 с.
2. Іваненко О. В. Дослідження впливу синтетичних олив на ефективність роботи ДВЗ. Науковий вісник автомобільного транспорту. – 2019, №4. – С. 45–52.
3. Johnson D. "Modern Trends in Engine Lubricants". Journal of Automotive Engineering, 2021, Vol. 35(3), pp. 233–249.
4. Вітчизняні мастильні матеріали: нові базові компоненти для якісних мастильних композицій / [В.І. Кириченко, Л.М. Кириченко, Г.О. Сіренко, В.П. Свідерський] // Тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. «Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин». – Хмельницький. – 17-19.10.2001. – Хмельницький, 2001. – С. 49-51.

***Свідерський Владислав Петрович*** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету (29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська 11, ауд. 4-226, e-mail: svidersky.vladyslav@gmail.com).

***Пірог Леонід Володимирович*** — завідувач відділення автомобільного транспорту, спеціаліст вищої категорії Хмельницького політехнічного фахового коледжу Національного університету «Львівська політехніка» (29015, Україна, м. Хмельницький, вулиця Зарічанська, 10, e-mail: lyolik_bolik_73@ukr.net).

***Медведчук Олександр Миколайович*** — викладач Хмельницького політехнічного фахового коледжу Національного університету «Львівська політехніка» (29015, Україна, м. Хмельницький, вулиця Зарічанська, 10, e-mail: Medvedchuk.sasha@ukr.net).

***Svidersky Vladyslav Petrovych*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science of Khmelnytsky National University (21016, Khmelnytsky, 11 Instytutska St., room 4-226, e-mail: svidersky.vladyslav@gmail.com).

***Pirog Leonid Volodymyrovych*** – Head of the Department of Motor Transport, Specialist of the Highest Category of the Khmelnytskyi Polytechnic Vocational College of the National University "Lviv Polytechnic" (29015, Ukraine, Khmelnytskyi, Zarichanska Street, 10, e-mail: lyolik_bolik_73@ukr.net).

***Medvedchuk Oleksandr Mykolayovych*** – Lecturer of the Khmelnytskyi Polytechnic Vocational College of the National University "Lviv Polytechnic" (29015, Ukraine, Khmelnytskyi, Zarichanska Street, 10, e-mail: Medvedchuk.sasha@ukr.net).

УДК 656.051

**Сидоров Д.Ю., Лубенець Ю.М.**

# ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ З ВИСОКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ

*Дослідження стану транспортного потоку на ділянках вулично-дорожньої мережі, яка вирізняється високими показниками щільності, дозволяє застосовувати ефективні алгоритми управління світлофорною сигналізацією, проектувати раціональні схеми пріоритетного пропуску громадського транспорту з мінімальними затримками на стоп-лініях регульованих перехресть і загалом розробляти схеми організації дорожнього руху, які забезпечують високі показники мобільності мешканців.*

***Ключові слова:*** *транспортний потік, вулично-дорожня мережа, світлофорне регулювання, інтенсивність руху, громадський транспорт, учасники дорожнього руху, імітаційне моделювання.*

*Studying the traffic flow on sections of the road network characterized by high traffic density enables the application of effective traffic light control algorithms, design rational schemes for prioritizing public transport with minimal delays at stop-lines at controlled intersections, and, in general, develop traffic management schemes that ensure high levels of mobility for residents.*

***Keywords:*** *traffic flow, road network, traffic light control, traffic volume, public transport, road users, simulation modeling.*

Сучасні теоретичні дослідження та кращі практики у європейських містах з розглянутої проблематики спрямовані на пошук раціонального розв'язання проблем, пов'язаних із забезпечення сталої міської мобільності, що включає боротьбу з заторами, сприяння мобільності мешканців, мінімізацію витрат на пересування, підвищення комфортності пересувань, зменшення викидів відпрацьованих газів та забруднення повітряного басейну урбанізованих просторів тощо.

У межах цієї роботи проведено комплекс транспортних досліджень, які включали натурні вимірювання та імітаційне моделювання, у центральній історичній частині міста Львова, яка характеризується високою щільністю вулично-дорожньої мережі з низькою пропускною здатністю. Така ситуація є типовою для міст або їх окремих районів, де транспорна інфраструктура створювалась і розвивалась у різні історичні періоди. Специфікою вулично-дорожньої мережі Львова є те, що вона має чітко виражену радіально-кільцеву конфігурацію, за якої всі основні магістральні напрямки зводять інтенсивні транспортні потоки (ТП) до центру міста. Проблеми з управління рухом ТП на таких ділянках пов'язані з:

– висока щільність вулично-дорожньої мережі створює невеликі відстані між перехрестями, які практично унеможливлюють накопичення ТП перед стоп-лінією за час дії заборонного сигналу в умовах світлофорного регулювання, що спонукає до проектування коротких світлофорних циклів незалежно від кількості фаз регулювання;

– короткі світлофорорні цикли за трифазного регулювання дозволяють відповідно проектувати короткі за тривалістю дозвільні сигнали, тому ефективна тривалість фази регулювання різко зменшується, а частка втраченого часу у циклі регулювання може досягати 10–15%;

– відсутні резерви пропускної здатності, тобто практично немає вільної території, яку можна було б перерозподілити між різними групами учасників дорожнього руху, зокрема й для забезпечення пріоритетного пропуску ГТ з використанням часових та/або просторових способів пріоритизації, а також відсутність можливості облаштування зупинок ГТ у заїзних кишенях;

– часті неканалізовані перехрестя з усіма дозволеними напрямками руху є місцями генерації транспортних затримок, спричинених суміщенням в одній фазі лівоповоротного руху з прямим зустрічним рухом, а велика інтенсиність пішохідних потоків укладнює пропуск правоповоротних ТП;

– рух трамваїв практично на всій протяжності їх маршрутів суміщено з рухом загального ТП, у результаті динаміка його руху є вкрай низькою.

Одночасне накладання перелічених проблем, а також вплив інших другорядних транспортних та містобудівних чинників, спонукають до впровадження різноманітних заходів з пріоритизації для кожної групи учасників дорожнього руху, метою яких є розосередження ТП у часі та просторі. До таких заходів, які успішно впроваджуються у місті Львові, відносяться:

– облаштування вулиць або окремих смуг виключно для руху ГТ (просторова пріоритизація);

– впровадження адаптивних алгоритмів управління за критерієм пошуку рухомого складу ГТ у потоці та виклик йому дозвільного сигналу у циклі регулювання за відповідним напрямком (часова пріоритизація);

– введення схем одностороннього руху та впровадження обмежень для виконання лівого повороту, а також реалізація таких маневрів шляхом виконання кількох правих поворотів через об'їзд кварталу, що є адекватним рішенням в умовах щільної вулично-дорожньої мережі, оскільки мінімізує пробіг транспортних засобів.

Наведемо деякі результати з цього комплексного дослідження. Взаємозв'язок між часовими параметрами фази регулювання та пропускною здатністю смуги прямого напрямку на регульованих перехрестях за умови віднесення правого повороту в окреме поширенння, а також при забороні лівого повороту, представлені на рис. 1

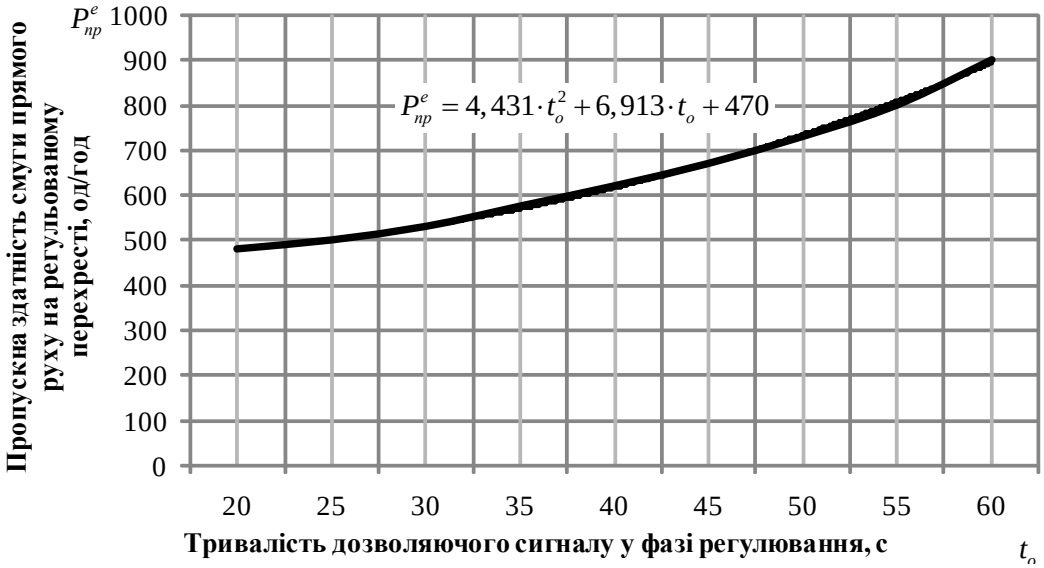



Рисунок 1 – Зміна експериментального значення практичної пропускної здатності смуги руху, яка обслуговує прямі транспортні потоки залежно від тривалості основного дозволяючого такт за частки легкових автомобілів у потоці 80 – 95%

При частці легкових автомобілів 80 – 95% величина пропускної здатності збільшується з 480 зв. од./год. до 900 зв. од./год., тобто при збільшенні на 40 с фактичний приріст пропускної здатності становив 86%. Слід відзначити, що у центральній частині міста ТП характеризується високою однорідністю.

На рис. 2 представлено результати імітаційного моделювання щодо зміни швидкості руху загального ТП ($V_{інд}$) та ГТ ($V_{ГТ}$), якому виділено окрему смугу, залежно від відстані між стоп-лініями ($L$).

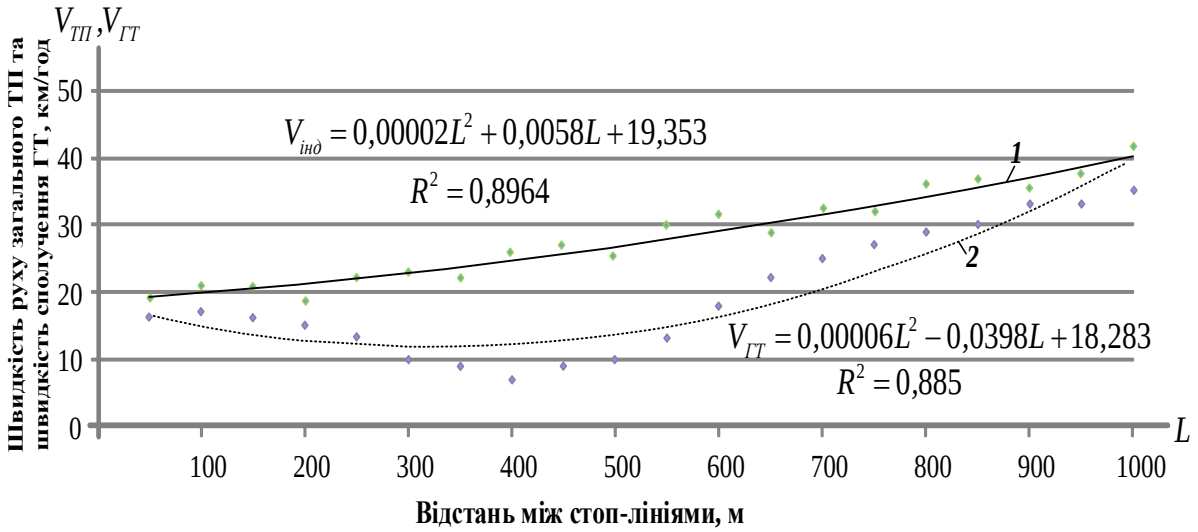



Рисунок 2 – Зміна швидкості руху загального транспортного потоку та швидкості сполучення громадського транспорту залежно від відстані між стоп-лініями за результатами натурних досліджень: 1 – швидкість руху загального транспортного потоку; 2 – швидкість сполучення громадського транспорту

Як бачимо, швидкість руху загального ТП збільшується зі зростанням відстані між стоп-лініями. Тут спостерігається пряма залежність. Так, для всіх досліджуваних ділянок між регульованими перехрестями та пішохідними переходами зі зростанням відстані від 50 м до 1000 м середня швидкість загального ТП збільшилась з 19 км/год до 41 км/год. Під час вимірювання швидкості руху загального ТП швидкість руху ГТ не враховувалась. Швидкість загального ТП визначалась із врахування часу проїзду транспортними засобами ділянки вулиці між стоп-лініями. Щодо швидкості сполучення ГТ, то тут спостерігається тенденція пониження швидкості за діапазону відстаней від 50 м до 300 м, що спричинено динамічними особливостями руху автобусів, затримками на стоп-лініях, а також затримками на зупинках. За такого діапазону відстаней могла з'являтися хоча б одна зупинка. Діапазон відстаней 300 – 500 м обов'язково включає мінімум одну, а ото й дві зупинки, що суттєво впливає на швидкість сполучення ГТ, особливо на тих зупинках, де спостерігається значний пасажирообмін. Також на таких ділянках є вплив інтенсивності руху індивідуального транспорту та режиму світлофорного регулювання. Після досягнення відстані близько 500 м швидкість сполучення зростає до відстані близько 850 м, після чого стабілізується на величині 29 – 32 км/год, що зумовлено графіками руху ГТ.

***Сидоров Дмитро Юрійович*** — аспірант кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 32, кімн. 316, e-mail: Dmytro.Sydorov.asp.2025@lpnu.ua).

***Лубенець Юрій Михайлович*** — аспірант кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 32, кімн. 316, e-mail: Dmytro.Sydorov.asp.2025@lpnu.ua).

***Sydorov Dmytro*** – Postgraduate student of the Department of Transport Technologies of the Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, Stepana Bandera Street, 32, room 316, e-mail: Dmytro.Sydorov.asp.2025@lpnu.ua).

***Lubenets Yurii*** – Postgraduate student of the Department of Transport Technologies of the Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, Stepana Bandera Street, 32, room 316, e-mail: Dmytro.Sydorov.asp.2025@lpnu.ua).

УДК 378.147:656.07

**Скібіна О.В.**

# ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

*Розглядається впровадження інноваційних навчальних програм у навчальний процес закладу освіти як стратегічно важливого напрямку підготовки фахівців автотранспортної галузі. Доведено, що інноваційна освіта вибудовує навчальний процес як рух від соціальних і загальнокультурних знань та вмінь своєї професії до технологічних, що дає розуміння способів та методів вирішення професійних завдань, а від них до методологічних, що дозволяє відстежувати динаміку зміни якості своєї професійної діяльності.*
***Ключові слова:*** *інноваційна освіта, технологія, транспортна галузь, навчальний процес.*

*The introduction of innovative educational programs into the educational process of an educational institution is considered as a strategically important direction of training specialists in the motor transport industry. It is proven that innovative education builds the educational process as a movement from social and general cultural knowledge and skills of one's profession to technological ones, which provides an understanding of the ways and methods of solving professional tasks, and from them to methodological ones, which allows you to track the dynamics of changes in the quality of one's professional activity.*
***Key words:*** *innovative education, technology, transport industry, educational process.*

Стрімкий розвиток світової транспортної інфраструктури супроводжується активним впровадженням сучасних технологій та підвищеними вимогами до екологічності, безпеки й ефективності. Трансформації в технологічному середовищі та нові підходи до організації транспортної діяльності вимагають від працівників нових компетенцій і здатності оперативно реагувати на виклики. Сучасні глобальні зміни у світі показують, що саме сфера освіти визначається та виділяється багатьма країнами як пріоритетний напрямок при підготовці конкурентоспроможних фахівців. У цьому контексті професійна підготова майбутніх фахівців автотранспортної галузі, здатних ефективно здійснювати інноваційні проєкти – завдання національних пріоритетів України. Особливе значення набуває підготовка висококваліфікованих фахівців, адже саме від їхніх знань і навичок залежить стабільний розвиток транспортної галузі, раціональне використання ресурсів і підтримка сталого розвитку. У той самий час рівень розвитку та використання сучасних технологій визначається розвитком матеріальної бази, рівнем інтелектуалізації суспільства, здатністю виробляти, засвоювати та застосовувати нові знання [2]. У процесі формування компетенцій студентів основними завданнями повинні виділятися не тільки передача знань майбутнім фахівцям, а й вироблення практичних навичок застосування цих знань, набуття таких рис, як підприємливість, здатність на ризик, ініціатива, сміливість у прийнятті рішень.

Професійне навчання – це керований педагогічний процес пізнання певної професійно-трудової галузі, організований спосіб навчання системної професійної освіти. Інноваційні навчальні програми для підготовки майбутніх фахівців у транспортній галузі стають стратегічно важливим компонентом розвитку сучасного транспортного сектору. Процес навчання не може бути ефективним без застосування сучасних методів і дидактичних засобів. В свою чергу, методи, форми та засоби навчання визначаються змістом освіти та рівнем особистісного та професійного розвитку студентів. Отже, процес професійного навчання – це цілісне педагогічне явище. Усі його компоненти тісно взаємопов'язані: цілі навчання втілені у зміст освіти, яка визначать її методи, форми та засоби. У реальній педагогічній діяльності процес професійного навчання має циклічний характер. Кожен його дидактичний цикл є функціональною системою, що заснована на спільній діяльності всіх суб'єктів процесу навчання.

Під час підготовки фахівців автотранспортної галузі серед найважливіших проблем підготовки студентів можна назвати: складність організації практичного навчання; обмежений доступ до складних технічних засобів та технологій; неможливість проведення експериментів у натурних умовах; відсутність навчальних посібників, які відповідають сучасному рівню технологій; відсутність належних теоретичних та практичних компетенцій у майбутніх спеціалістів з погляду роботодавця; необхідність перепідготовки випускників закладів вищої освіти при влаштуванні на роботу. Рішенням стає розробка інноваційних освітніх технологій у закладах вищої освіти, орієнтованих на потреби сучасних провідних компаній та необхідність швидкої адаптації фахівців до робочого середовища.

Останні дослідження і публікації, присвячені підготовці фахівців у галузі транспорту, відображають зростаючу потребу в застосуванні інноваційних навчальних програм у навчальному процесі, що обумовлюється технологічними змінами та вимогами ринку праці. Результати аналізу вітчизняної та закордонної психолого-педагогічної літератури щодо впровадження інноваційних методів навчання в закладах вищої освіти дозволяють зробити висновки, виявивши загальні тенденції більшості наукових підходів: інновації, що орієнтуються на кінцевий результат – формування висококваліфікованих кадрів на ринку праці, задоволення певних соціально-економічних потреб у навчанні професіоналів і фахівців у конкретній галузі; інновації розглядаються як результат складного освітнього процесу, який включає в себе різні зміни, не тільки технологічні, але також економічні, соціальні та організаційні; інновації в довгостроковій перспективі забезпечують економічні, соціальні, науково-технічні та інші ефекти. До класифікаційних характеристик інновацій відносять: новизну, обсяг і рівень використання ідей; масштабність і серійність упровадження в освітній процес закладу ; ефективність упровадження інноваційних технологій у розмежуванні експериментальних випробувань і безпосередньої реалізації. Окремими класифікаційними ознаками можна виділити: наскрізну послідовність, наступність, етапність, академічну якість, системність освітнього процесу, вплив інновацій на вартість навчання майбутніх фахівців, ефективність працевлаштування і професійної компетентності для забезпечення мобільності та якості життя професіонала [1].

Однією з ключових характеристик інноваційних навчальних програм є інтеграція теоретичних знань з практичними навичками. Традиційна система навчання у закладах вищої освіти надає студентам теоретичні знання, проте їхнє практичне застосування у професійній діяльності зазвичай обмежується окремими етапами, такими як виконання курсових робіт, переддипломна підготовка або виробничі практики. Зрозуміло, що оснастити студента реальними професійними знаннями та якостями у цих умовах досить складно. Інноваційна освіта орієнтована на формування професійних знань і якостей у процесі освоєння інноваційної динаміки, наприклад, у процесі освоєння типових інновацій через електронну хрестоматію, де представлені типові інновації, що демонструють хід розвитку даної професійної сфери діяльності, зібрані професійні завдання інтегрального типу.

Таким чином, поняття професіоналізму стає інтегральною якістю випускника, яку він синтезував сам у процесі свого навчання. Усвідомлення студентом себе як професіонала впливає на результат освітнього процесу, оскільки активізує мотивацію саморозвитку, що, у свою чергу, перетворює процес навчання на джерело задоволення потреб особистості, що розвивається. У результаті студент здійснює реальний перехід із формально-правового (студент як суб'єкт освіти) у стан фактичного антропоцентризму (студент - суб'єкт власної життєдіяльності).

Отже, інноваційна освіта вибудовує навчальний процес як рух від соціальних і загальнокультурних знань та вмінь своєї професії (від професії до культури) до технологічних, що дає йому розуміння способів та методів вирішення професійних завдань, а від них до методологічних, що дозволяє відстежувати динаміку зміни якості своєї професійної діяльності (від технології до інноваційного мислення). Інноваційне мислення формується у студента, якщо він, по-перше, активно мотивований у навчанні, реалізує вимоги самоменеджменту, індивідуального самоврядування для досягнення амбітних (у хорошому значенні слова) життєвих цілей; по-друге, якщо навчальний процес відображає повний життєвий цикл професійної діяльності

з її нововведеннями та протиріччями.

Виходячи з усього вищевикладеного, можна дійти висновку, що провідними функціями інноваційного навчання можна вважати: інтенсивний розвиток особистості студента і педагога; демократизацію їхньої спільної діяльності та спілкування; гуманізацію навчально-виховного процесу; орієнтацію на творче викладання та активне вчення та ініціативу студента у формуванні себе як майбутнього професіонала; модернізацію засобів, методів, технологій та матеріальної бази навчання, що сприяють формуванню інноваційного мислення майбутнього фахівця.

Прикладом технології навчання, що сприяє формуванню інноваційного мислення майбутнього професіонала, є використання віртуальних моделей професійного середовища. Віртуальне середовище дає можливість відчути себе у ролі посадової особи безпосередньо на практиці в процесі навчання на певних сценаріях «вплив техногенезу – результат» з самооцінкою дій і тестуванням рівня теоретичних знань. Це свого роду комп'ютерна «іграшка», яка дозволяє йти від простих моделей оцінок впливу виробничого середовища (техносфери) до управління та мінімізації цих впливів, ліквідації наслідків з оцінками економічних збитків. Саме в цьому ми бачимо головні позитивні якості навчання із зануренням у віртуальне професійне середовище. Роль самостійної підготовки студента різко зростає з включенням комп'ютерів у процес навчання для отримання та експериментальної перевірки знань. Найважливіша перевага комп'ютерної техніки - можливість побудови освітнього процесу у вигляді інтерактивної роботи студенів з динамічними образами об'єктів, що вивчаються. Але, ефективність застосованих інноваційних методів навчання у професійній підготовці фахівців транспортної галузі потрібно оцінювати не лише за кількісними показниками навчальних досягнень студентів, а й з огляду на зміни в свідомості як студентів, так і викладачів. У студентів формується готовність до неперервного оволодіння новими знаннями, затверджуються навички брати на себе відповідальність, відстоювати свою позицію, співпрацювати, розвивається новий тип мотиваційної сфери, де самоактуалізація сприяє створенню нової позиції особистості та впливає на формування конкурентного фахівця на ринку праці.

**Список використаних джерел**

1. Литвин А. Інноваційні навчальні програми для підготовки майбутніх фахівців у галузі транспорту. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Серія «Педагогічні науки»,* 2025, Вип. 1. С. 215-220.

2. Пукало, М.І., Козловський, Ю.М. Підготовка майбутніх фахівців автомобільного транспорту засобами активних методів навчання. *World Science: multidisciplinary scientific edition,* 5(33), 4: 54-57.

***Скібіна Олена Володимирівна*** - канд. пед. наук, доцент, доцент кафедри професійної освіти, ресторанного і туристичного бізнесу Луганського національного університету імені Тараса Шевченка (м. Лубни, Полтавська обл., вул. Віктора Новікова, 2, e-mail: lenaskibina10@gmail.com).

***Skibina Olena Volodymyrivna*** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Professional Education, Restaurant and Tourism Business of Luhansk Taras Shevchenko National University (Lubny, Poltava region, Viktor Novikov Street, 2, e-mail: lenaskibina10@gmail.com).

УДК 629.01

**Скорик М.О.**

# ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ БУКСУВАННЯ КОЛІС АВТОМОБІЛЯ В РІЗНИХ ДОРОЖНІХ УМОВАХ

*Теоретичне дослідження процесу буксування коліс автомобіля в різних дорожніх умовах та визначення безпечного часу буксування $t_i$ а саме буксування автомобіля на твердій поверхні із мінімальним поверхневим шаром снігу та льоду, а також із поверхневим шаром снігу та льоду значної товщини.*

***Ключові слова:*** *дорожні умови, процес буксування, пляма контакту, товщина шару снігу та льоду, кількість теплоти, безпечний час буксування.*

*Theoretical study of the vehicle wheel slip process in various road conditions and determination of the safe slip time, specifically vehicle slipping on a hard surface with a minimal surface layer of snow and ice, as well as with a significant surface layer of snow and ice.*

***Key words:*** *road conditions, slipping process, tire footprint, snow and ice layer thickness, heat quantity, safe slip time.*

Процес буксування автомобіля на твердій поверхні із мінімальним поверхневим шаром снігу та криги є переважним для міських доріг у зимову пору року.

Розглядаючи процес буксування колеса по такій опорній поверхні, необхідно визначити площу контакту $S_к$. Дана площа може бути визначена:

– експериментально – за плямою контакту колеса із опорною поверхнею;

– аналітично – за умовою рівноваги тиску в шині.

Умова рівноваги тиску в шині $p_ш$, Па

$$p_ш = \frac{m_i \cdot g}{S_к}, \quad (1)$$

де $m_i$ – маса, яка припадає на колесо, кг;

$g$ – прискорення вільного падіння, м/с$^2$.

Звідки

$$S_к = \frac{m_i \cdot g}{p_ш}. \quad (2)$$

У статичному положенні дана маса визначається за компонувальною схемою автомобіля і з урахуванням його завантаження. На початоку руху з прискоренням дана маса перерозподіляється у напрямку задньої частини автомобіля з урахуванням висоти центру ваги $h_д$, причому, чим вище висота центру ваги, тим значніше перерозподіл. Із цього можна зробити висновок, що рушання з місця відбувається за кращих умов у задньоприводних автомобілів і на підйомі [1, 2].

На початку буксування пляма контакту має мінімальну площу, лід на твердому дорожньому покритті не розплавлений внаслідок дії тепла, яке виникає під час роботи сил тертя. Руху перешкоджає сила опору руху $P_f$, а сила тяги $P_T$ менше сили опору руху. У результаті тривалого буксування колеса лід під плямою контакту плавиться сильніше, чим більше робота сил тертя.

Робота сил тертя $A_T$, Дж

$$A_T = F_t \cdot L_t, \quad (3)$$

де $F_t$ – сила тертя колеса і опорної поверхні, Н;

$$F_t = f \cdot m_i \cdot g, \quad (4)$$

де $f$ – коефіцієнт тертя між опорною поверхнею і колесом;

$L_t$ – шлях тертя, м

$$L_t = v_к \cdot t_i, \tag{5}$$

де $v_к$ – швидкість руху зовнішнього радіуса колеса, м/с;

$t_i$ – час буксування, с.

Швидкість руху зовнішнього радіуса колеса $v_к$ буде дорівнювати швидкості автомобіля $v_a$, якщо буде відсутній процес буксування коліс.

Тоді (3)

$$A_T = f \cdot m_i \cdot g \cdot v_к \cdot t_i. \tag{6}$$

Отже, робота сил тертя у процесі буксування колеса буде пропорційно залежна від швидкості колеса $v_к$ у процесі буксування, маси $m_i$, яка припадатиме на колесо, і часу буксування $t_i$.

Умова плавлення льоду на опорній поверхні під час буксування

$$A_T = Q, \tag{7}$$

де $Q$ – кількість теплоти, Дж, яка необхідна для плавлення льоду під час буксування.

$$Q = Q_1 + Q_2, \tag{8}$$

де $Q_1$ – кількість теплоти, Дж, яка витрачається на нагрів льоду до точки початку плавлення;

$Q_2$ – кількість теплоти, Дж, яка витрачається на плавлення льоду.

Кількість теплоти $Q_1$, Дж, яка витрачається на нагрів льоду до точки початку плавлення

$$Q_1 = m_{лід} \cdot C_{лід.пит.} \cdot \Delta T, \tag{9}$$

де $m_{лід}$ – маса льоду у плямі контакту колеса і дороги, кг;

$C_{лід.пит.}$ – питома теплоємність льоду, Дж/(кг·К), $C_{лід.пит.} = 2{,}1 \cdot 10^3$;

$\Delta T$ – різниця температури льоду до точки початку плавлення, К.

Маса льоду $m_{лід}$ у плямі контакту колеса і дороги, кг

$$m_{лід} = V_{лід} \cdot \rho, \tag{10}$$

де $\rho$ – густина льоду, кг/м$^3$, $\rho = 900$;

$V_{лід}$ – об’єм льоду у плямі контакту колеса і дороги, м$^3$

$$V_{лід} = S_к \cdot h_{лід}, \tag{11}$$

де $h_{лід}$ – товщина шару льоду, м, який розплавиться у плямі контакту під час буксування.

Товщина шару льоду $h_{лід}$ залежить від багатьох факторів: початкової температури льоду, інтенсивності процесу буксування, будови і складу льоду, наявності в ньому будь-яких механічних включень. Дана величина може бути визначена лише експериментальним шляхом у реальних умовах.

Кількість теплоти $Q_2$, Дж, яка витрачається на плавлення льоду

$$Q_2 = m_{лід} \cdot C_{лід.пл.}, \tag{12}$$

де $C_{лід.пл.}$ – питома теплота плавлення льоду, Дж/(кг·К), $C_{лід.пл.} = 3{,}34 \cdot 10^5$.

Отже

$$Q = m_{лід} \cdot C_{лід.пит.} \cdot \Delta T + m_{лід} \cdot C_{лід.пл.}. \tag{13}$$

Враховуючи (10) і (11)

$$Q = S_к \cdot h_{лід} \cdot \rho \cdot C_{лід.пит.} \cdot \Delta T + S_к \cdot h_{лід} \cdot \rho \cdot C_{лід.пл.}, \tag{14}$$

$$Q = S_к \cdot h_{лід} \cdot \rho \cdot (C_{лід.пит.} \cdot \Delta T + C_{лід.пл.}). \tag{15}$$

Враховуючи (6) і (7)

$$f \cdot m_i \cdot g \cdot v_к \cdot t_i = S_к \cdot h_{лід} \cdot \rho \cdot (C_{лід.пит.} \cdot \Delta T + C_{лід.пл.}). \tag{16}$$

Враховуючи (2), із (16) виразимо безпечний час буксування $t_i$, с

$$t_i = \frac{m_i \cdot g \cdot h_{лід} \cdot \rho \cdot (C_{лід.пит.} \cdot \Delta T + C_{лід.пл.})}{p_ш \cdot f \cdot m_i \cdot g \cdot v_к} = \frac{h_{лід} \cdot \rho \cdot (C_{лід.пит.} \cdot \Delta T + C_{лід.пл.})}{p_ш \cdot f \cdot v_к}. \tag{17}$$

За умовами руху безпечний час буксування $t_i$ буде прагнути до мінімуму. Якщо $t_i$ буде

прагнути до максимума, то колесо, яке буксує, обіпреться на тверду поверхню, що різко підвищить коефіцієнт зчеплення $\varphi$.

Процес буксування автомобіля на твердій поверхні із поверхневим шаром снігу та льоду значної товщини є класичним взимку як для заміських умов експлуатації, так і для міських за складних погодних умов.

Розглядаючи процес буксування, можна прийти до висновку, що він буде аналогічний до процес буксування автомобіля на твердій поверхні із мінімальним поверхневим шаром снігу та криги, але із деякими відмінностями:

– площа плями контакту $S_к$ у процесі буксування для даного випадку буде суттєво відрізнятися від попереднього;

– об'єм льоду у плямі контакту $V_{лід}$, який залежатиме від площі плями контакту $S_к$ і товщини шару льоду $h_{лід}$ відповідно також значно зросте;

– товщина шару льоду $h_{лід}$ залежить від багатьох факторів: початкової температури льоду, інтенсивності процесу буксування, будови і складу льоду, наявності в ньому будь-яких механічних включень, дана величина може бути визначена також лише експериментальним шляхом у реальних умовах.

Враховуючи все перераховане, за умовами руху безпечний час буксування $t_i$ має прагнути до мінімуму. Якщо $t_i$ буде прагнути до максимума, то колесо, яке буксує, буде зариватися. При цьому буде збільшуватися площа плями контакту $S_к$, яка буде позитивно впливати на процес буксування, і кут нахилу опорної поверхні $\alpha$, який буде негативно впливати на можливість самостійного подолання перешкоди, яка утворюватиметься.

Із збільшенням безпечного часу буксування $t_i$ зростатиме глибина заривання ведучих коліс, при чому даний процес зупиниться лише у двох випадках:

– колесо досягне твердої опорної поверхні і коефіцієнт зчеплення $\varphi$ миттєво зросте, при цьому дуже важливим буде значення критичного кута для подолання колесом перешкоди $\alpha$, який безпосередньо впливатиме на значення критичної висоти заривання колеса $h_{кр}$;

– колесо не досягне твердої опорної поверхні і автомобіль нижньою частиною опуститься на контактну поверхню, що призведе до неможливості самостійного подолання такої перешкоди.

**Список використаних джерел**

1. Сахно В.П., Сирота В.І., Поляков В.М. Автомобілі. Теорія : навчальний посібник. Одеса : Військова академія, 2017. 414 с.

2. Волков В.П., Вільський Г.Б. Теорія руху автомобіля : підручник. Суми : Університетська книга, 2020. 320 с.

***Скорик Максим Олексійович*** — старший викладач кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (36011, м. Полтава, просп. Віталія Грицаєнка, 24, ауд. Л102, e-mail: maxym.skoryk @gmail.com).

***Skoryk Maksym*** – Senior Lecturer of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Mechatronics of National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» (36011, Poltava, Vitalii Hrytsaienko Ave., 24, room L102, e-mail: maxym.skoryk@gmail.com).

УДК 621.43.068

**Слинько Г.І., Сухонос Р.Ф.**

# ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ У ДВОТАКТНИХ ДВЗ: СУЧАСНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ, ЇХ НЕДОЛІКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

*Проаналізовано чинники підвищеної токсичності відпрацьованих газів двотактних двигунів внутрішнього згоряння та сучасні способи її зниження. Визначено переваги, недоліки й обмеження впровадження технічних рішень з урахуванням умов експлуатації, призначення двигуна та економічної доцільності.*

***Ключові слова:*** *безпосереднє впорскування, відпрацьовані гази, двотактний двигун, екологічність, економічність, каталітичний нейтралізатор, продувка, роздільне мащення.*

*The factors causing increased toxicity of exhaust gases from two-stroke internal combustion engines and modern methods for reducing it are analyzed. The advantages, drawbacks, and limitations of implementing technical solutions are identified with regard to operating conditions, engine purpose, and economic feasibility.*

***Key words:*** *two-stroke engine, exhaust gas, direct injection, scavenging, separate lubrication, catalytic converter, environmental friendliness, economy.*

Двотактні двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) тривалий час зберігають практичне значення в тих сегментах техніки, де пріоритетними є висока питома потужність, мала маса, конструктивна простота, компактність і здатність працювати в автономних умовах. Вони широко застосовуються в мотоциклетній техніці, на маломірних суднах, у ручному механізованому інструменті, переносних енергетичних установках, безпілотних системах, а також у деяких видах спеціальної техніки. Разом із цим саме двотактні ДВЗ характеризуються підвищеним рівнем токсичності відпрацьованих газів, що обумовлено особливостями газообміну, сумішоутворення та мащення. У сучасних умовах посилення екологічних вимог це суттєво звужує сферу їх ефективного використання та вимагає впровадження технічних рішень, спрямованих на зниження викидів шкідливих речовин.

Основними причинами високої токсичності відпрацьованих газів у двотактних двигунах є втрати частини свіжого заряду під час продувки циліндра, неповне згоряння паливоповітряної суміші, а також потрапляння продуктів згоряння мастила до складу відпрацьованих газів. Перекриття процесів випуску і наповнення призводить до потрапляння незгорілого палива у випускну систему, що зумовлює підвищення концентрації вуглеводнів. Використання паливно-мастильної суміші в традиційних конструкціях сприяє збільшенню викидів чадного газу, димності та утворенню твердих частинок. Додатково на екологічні показники негативно впливають нестабільність складу робочої суміші та обмежені можливості точного керування процесом згоряння в простих карбюраторних системах.

Одним із найрезультативніших напрямів зниження токсичності є застосування систем безпосереднього впорскування палива. Таке рішення дозволяє подавати паливо після закінчення основної фази продувки, зменшуючи втрати свіжого заряду через випускні вікна. Унаслідок цього скорочуються викиди незгорілих вуглеводнів, покращується паливна економічність і підвищується стабільність робочого процесу. Проте зазначене рішення має і суттєві недоліки. Насамперед це ускладнення конструкції двигуна, зростання вартості системи живлення, підвищення вимог до якості палива та сервісного обслуговування. Для малогабаритної техніки, де визначальними чинниками є дешевизна, ремонтопридатність і технологічна простота, впровадження безпосереднього впорскування часто є економічно недостатньо обґрунтованим. Крім того, в умовах запиленості, високої вологості, змінного температурного середовища, характерного для ручного інструменту чи польової техніки, електронно-керовані

системи можуть демонструвати меншу експлуатаційну надійність порівняно з простішими механічними рішеннями.

Суттєвий ефект може бути досягнутий шляхом оптимізації процесу продувки циліндра. Удосконалення форми і розміщення продувних та випускних вікон, налаштування хвильових процесів у випускній системі, використання резонансних трубопроводів та вдосконалення аеродинаміки каналів сприяють кращому очищенню циліндра від залишкових газів і зменшенню виносу свіжого заряду. Однак такі рішення, як правило, забезпечують високий ефект лише в обмеженому діапазоні частот обертання та навантажень. Це особливо важливо для двигунів універсального призначення, що працюють у змінних режимах, наприклад у бензопилах чи мотокосах. Для таких сфер застосування вузькодіапазонне налаштування газодинаміки не завжди гарантує стабільне покращення екологічних показників у реальних умовах експлуатації. Крім того, складніша геометрія каналів і випускної системи може ускладнювати виробництво та збільшувати вимоги до точності виготовлення.

Важливим способом зменшення токсичності є перехід від змішаної системи мащення до роздільної. Дозоване подавання мастильного матеріалу безпосередньо в зони тертя знижує його загальну витрату і, відповідно, скорочує кількість продуктів згоряння мастила у відпрацьованих газах. Також це сприяє зменшенню нагароутворення та підвищенню ресурсу деталей двигуна. Разом із тим роздільне мащення вимагає ускладнення системи мащення, потребує точного дозування оливи. Для техніки, яка працює у віддалених або важкодоступних умовах, наприклад у лісовому господарстві, на маломірних суднах, простота традиційного змішування палива з мастилом іноді виявляється більш прийнятною з погляду експлуатаційної надійності, навіть попри гірші екологічні характеристики.

Перспективним напрямом є використання каталітичних нейтралізаторів у випускних системах двотактних ДВЗ. Їх застосування дозволяє зменшувати концентрацію оксиду вуглецю та незгорілих вуглеводнів у відпрацьованих газах. Проте ефективність каталітичного очищення у двотактних двигунах обмежується низкою факторів. По-перше, склад газів таких двигунів є менш стабільним, що ускладнює підтримання оптимального режиму роботи каталізатора. По-друге, наявність у відпрацьованих газах залишків вуглеводнів від палива та мастила пришвидшує деградацію каталітичного матеріалу. По-третє, для малогабаритної ручної техніки додатковий опір випуску, збільшення габаритів і вартості системи є небажаними. В умовах обмеженого монтажного простору, жорстких масогабаритних вимог і потреби у високій мобільності застосування каталізаторів має обмежений характер.

Окрему групу рішень становить удосконалення систем запалювання, електронного керування подачею палива та використання цифрових алгоритмів регулювання режимів роботи. Такі засоби дозволяють точніше адаптувати параметри двигуна до змін навантаження, температури та зовнішніх умов, сприяючи зменшенню токсичності та підвищенню економічності. Водночас їх недоліками є вища ціна, залежність від джерел електроживлення, ускладнення діагностики та ремонту, а також більша чутливість до вологи, вібрацій і електромагнітних перешкод. Саме тому доцільність упровадження електронних систем значною мірою залежить від конкретної сфери використання двигуна. Якщо в безпілотних літальних апаратах або спеціалізованих силових установках така модернізація може бути технічно й економічно виправданою, то для масової дешевої переносної техніки вона часто суперечить вимогам мінімізації собівартості.

Зменшенню токсичності відпрацьованих газів також може сприяти застосування альтернативних палив і сучасних синтетичних мастильних матеріалів. Використання нових видів палив потенційно дозволяє знизити димність, концентрацію оксиду вуглецю та деяких інших шкідливих компонентів. Синтетичні мастила з меншою схильністю до нагароутворення також покращують екологічні характеристики двигуна. Однак ці рішення не усувають базових конструктивних недоліків двотактного циклу, пов’язаних із втратою частини свіжого заряду під час продувки. Крім того, альтернативні палива можуть потребувати зміни параметрів системи живлення, корекції кута випередження запалювання та адаптації матеріалів паливної апара-

тури. Для багатьох категорій техніки додатковим обмеженням є доступність відповідного палива в польових умовах та відсутність належної інфраструктури його постачання.

Слід підкреслити, що область застосування двотактних двигунів сама по собі визначає межі впровадження екологічних удосконалень. Такі двигуни переважно використовуються там, де вирішальне значення мають низька маса, компактність, висока питома потужність, швидкий набір обертів і конструктивна простота. Саме ці переваги можуть бути частково втрачені при надмірному ускладненні двигуна додатковими системами впорскування, каталізаторами, насосами, датчиками та електронними блоками керування. У результаті виникає суперечність між екологічною модернізацією та базовими експлуатаційними перевагами двотактного ДВЗ. Для ряду застосувань, зокрема в ручному інструменті, перехід на складніші конструкції може знизити рентабельність використання самого двигуна як класу.

**Висновки.** Зниження токсичності відпрацьованих газів двотактних ДВЗ потребує комплексного поєднання конструктивних, паливних і керувальних заходів, зокрема вдосконалення газообміну, застосування безпосереднього впорскування, роздільного мащення, каталітичної нейтралізації та електронного керування. Водночас кожне з наведених рішень супроводжується технічними, економічними та експлуатаційними обмеженнями. Тому перспективним є диференційований підхід до екологічної модернізації двотактних ДВЗ, за якого вибір технічних засобів визначається умовами експлуатації, функціональним призначенням двигуна та економічною доцільністю.

**Список використаних джерел**

1. Mattarelli E., Rinaldini, C. Two-Stroke Gasoline Engines for Small-Medium Passenger Cars. *SAE Technical Paper*. 2015. 2015-01-1284. DOI: 10.4271/2015-01-1284

2. Korohodskyi V., Manoylo V., Kryshtopa S., Gogorenko O., Slynko G., Khomutov M., Skrypnyk N. Determination of properties of the working medium in the cylinder of a two-stroke engine with spark ignition during combustion of a stratified fuel-air charge. *AIP Conference Proceedings*. 16 July 2025; 3428 (1): 020006. DOI: https://doi.org/10.1063/12.0038597

3. Mavinahally N. S. An Historical Overview of Stratified Scavenged Two-Stroke Engines - 1901 through 2003. *SAE Technical Paper*. 2004. 2004-32-0008. DOI: 10.4271/2004-32-0008.

4. Ciampolini M., Raspanti S., Romani L., Ferrara G., Merolla S., Gagliardi V. On the Effects of Piston Pocket, Intake Port, and Transfer Duct Geometries in a Small Stratified-Scavenging Two-Stroke Engine. *SAE Technical Papers*. 24 Oct 2023. DOI: 10.4271/2023-01-1825

5. Слинько Г. І., Сухонос Р. Ф., Слинько В. В., Лук'яненко В. П. Дослідження впливу резонансного наддуву бензинового двотактного двигуна на його швидкісну характеристику. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2024. № 4. С. 59–66. DOI: 10.15588/1607-6885-2024-4-6

6. Слинько Г. І., Сухонос Р. Ф. Аналіз технічного рівня двотактних двигунів для бензопил. *Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії '2025 : Міжнародна конференція, 11–12 березня 2025 р. : тези доповіді.* Харків : ФОП Бровін О.В., 2025. С. 44–47.

7. Patschull J., Roth P. Measurement and reduction of particles emitted from a two-stroke engine. *Journal of Aerosol Science*. 1995. Vol. 26, Issue 6. P. 979–987. DOI: 10.1016/0021-8502(95)00022-5

8. Слинько Г. І., Сухонос Р. Ф., Слинько В. В. Аналіз напрямків покращення економічності та екологічності 2-тактних двигунів внутрішнього згорання. *Інноваційні аспекти розвитку автомобільного транспорту України : Міжнарод. наук.-практ. конф., 16-18 травня 2023 р. : тези доповіді.* Кам'янське : ДДТУ, 2023. С. 123–125.

9. Корогодський В. А. Наукові основи перспективних робочих процесів двигунів з іскровим запалюванням при внутрішньому сумішоутворенні : дис. … д-ра техн. наук : 05.05.03 / Корогодський Володимир Анатолійович. Харків, 2018. 499 с

10. Slynko G., Sukhonos R. Small Stratified-Scavenging Two-Stroke Internal Combustion Engine. *Тиждень науки-2025. Транспортний факультет. Науково-практ. конф., Запоріжжя, 14-18 квітня 2025 р.: тези доповіді.* Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2025. С. 18–20.

11. Slynko G., Sukhonos R. Methods for Improving 2-stroke Internal Combustion Engines. *Тиждень науки-2024. Транспортний факультет. Науково-практ. конф., Запоріжжя, 15-19 квітня 2024 р.: тези доповіді.* Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. С. 81–83.

***Слинько Георгій Іванович*** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри «Автомобілі, теплові двигуни та гібридні енергетичні установки» транспортного факультету Національного університету «Запорізька політехніка» (69063, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 64, ауд. 131, e-mail: gslynko@zp.edu.ua).

***Сухонос Роман Федорович –*** магістр, старший викладач кафедри «Автомобілі, теплові двигуни та гібридні енергетичні установки» транспортного факультету Національного університету «Запорізька політехніка» (69063, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 64, ауд. 135, e-mail: romevs@zp.edu.ua).

***Slynko Georgiy*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles, Heat Engines and Hybrid Power Plants, Faculty of Transport, National University "Zaporizhzhia Polytechnic" (69063, Zaporizhzhia, Universytetska Street, 64, room 131, e-mail: gslynko@zp.edu.ua).

***Sukhonos Roman –*** Master, senior teacher of Department of Automobiles, Heat Engines and Hybrid Power Plants, Faculty of Transport, National University "Zaporizhzhia Polytechnic" (69063, Zaporizhzhia, Universytetska Street, 64, room 135, e-mail: romevs@zp.edu.ua).

УДК 629.3

**Сметанкіна Н.В., Місюра С.Ю., Місюра Є.Ю.**

# ОЦІНКА МІЦНОСТІ БАГАТОШАРОВОГО СКЛІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

*Розроблено метод розрахунку на динамічну міцність багатошарового скління автомобілів спеціальної техніки при ударі твердим тілом. Визначені маса та швидкість ударника, за яких напруження в склінні досягають допустимих значень. Отримані залежності дозволяють підібрати параметри елемента скління, а також оцінити його надійність за різних умов експлуатації.*

***Ключові слова:*** *багатошарове скління, спеціальна техніка, ударне навантаження.*

*A method for calculating the dynamic strength of multilayer glazing of special vehicles under impact with a solid body has been developed. The mass and speed of the impactor are determined, at which the stresses in the glazing reach permissible values. The obtained dependences allow us to select the parameters of the glazing element and to assess its reliability under various operating conditions.*

***Key words:*** *multilayer glazing, special vehicle, impact load.*

Безпека особового складу при виконанні рятувальних робіт потребує вирішення багатьох задач. Однією з них є проблема забезпечення надійності та міцності елементів конструкцій автомобілів спеціальної техніки. Особлива увага приділяється склінню, як одному з відповідальних елементів [1, 2], яке повинно задовольняти вимоги щодо ударної міцності, вогнестійкості та надійності при умові збереження своїх експлуатаційних характеристик. Тому проектування надійного та безпечного скління спеціальної техніки є актуальною проблемою.

Найчастіше в кабінах використовуються плоскі стекла. Скління виконується із загартованих одношарових стекол чи тришарових та закріплюється за допомогою гумового ущільнювача, який фіксується по периметру закладення замком із полімерного матеріалу, що дозволяє розглядати елементи скління як шарнірно оперті пластини. При цьому методи дослідження міцності скління засновані на емпіричних даних і спрощених моделях. Метою даної роботи є створення методу розрахунку міцності багатошарового скління автомобілів спеціальної техніки при ударних навантаженнях. Багатошарове скління розглядається на основі уточненої теорії багатошарових пластин як багатошарова шарнірно оперта прямокутна пластина з шарів постійної товщини.

Динамічна поведінка пластини описується на основі кінематичних гіпотез, які враховують деформації поперечного зсуву, обтиснення вздовж товщині та інерції обертання нормального елемента у межах кожного шару [3]. Контакт між шарами виключає їх розшаровування і взаємне проковзування. Удар наноситься індентором у вигляді кулі по зовнішній поверхні першого шару скління. Контактне зближення враховується на основі розв'язання задачі Герца про вдавлення кулі в пружний півпростір [4]. З варіаційного принципу Остроградського-Гамільтона [5] одержуємо рівняння руху скління під впливом ударного навантаження та граничні умови. Шукані функції та навантаження розвиваються у тригонометричні ряди за функціями, що відповідають умовам шарнірного опирання пластини. Таким чином, задача зводиться до інтегрування системи звичайних диференціальних рівнянь. Після визначення коефіцієнтів розвинення шуканих функцій обчислюються переміщення та напруження у шарах скління.

Досліджено вплив швидкості зіткнення при ударі сталевою кулею масою 227 г та радіусом 20 мм на максимальні напруження на прикладі тришарового скла. За швидкості 7 м/с напруження наближаються до допустимих значень, а при 10 м/с відбувається руйнування скла. Також досліджено вплив маси кулі на максимальні напруження для швидкості зіткнення 5 м/с. Встановлено, що, коли маса кулі дорівнює 400 г, напруження наближаються до допустимих

значень, а при масі 500 г скління руйнується.

Таким чином, запропоновано метод аналізу міцності багатошарового скління, який дозволяє оцінити експлуатаційну надійність багатошарового скління транспортних засобів в умовах динамічного навантаження.

**Список використаних джерел**

1. Malykhina A.I., Merkulov D.O., Postnyi O.V., Smetankina N.V. Stationary problem of heat conductivity for complex-shape multilayer plates. Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Mathematical modeling. Information technology. Automated control system", 2019, vol. 41. pp. 46–54. https://doi.org/10.26565/2304-6201-2019-41-05

2. Smetankina N.V., Postnyi O.V., Misura S.Yu., Merkulova A.I., Merkulov D.O. Optimal design of layered cylindrical shells with minimum weight under impulse loading. In: 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). 2021. pp. 506–509. https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.956998

3. Smetankina N.V., Shupikov A.N., Sotrikhin S.Yu., Yareschenko V.G. A noncanonically shape laminated plate subjected to impact loading: Theory and experiment. Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME, vol. 75, no. 5. pp. 051004-1–051004-9. https://doi.org/10.1115/1.2936925

4. Smetankina N., Merkulova A., Merkulov D., Postnyi O. Dynamic response of laminate composite shells with complex shape under low-velocity impact. In: Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2020. ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, vol. 188. pp. 267–276. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_22

5. Місюра С.Ю., Сметанкіна Н.В., Місюра Є.Ю. Раціональне моделювання кришки гідротурбін для аналізу міцності. Вісник НТУ «ХПІ». Сер.: Динаміка і міцність машин, 2019. № 1. С. 34–39. https://doi.org/10.20998/2078-9130.2019.1.187415

***Сметанкіна Наталя Володимирівна*** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України, e-mail: nsmetankina@ukr.net

***Місюра Сергій Юрійович*** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України, e-mail: misurasy@gmail.com

***Місюра Євгенія Юріївна*** – кандидат технічних наук, доцент кафедри економіко-математичного моделювання факультету підготовки іноземних громадян Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця, e-mail: misuraeu@gmail.com

***Smetankina Natalia*** – Doctor of technical sciences, professor, head of the Department of Vibration and Thermostability Studies, Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, e-mail: nsmetankina@ukr.net

***Misiura Serhii*** – candidate of technical sciences, senior researcher of the Department of Vibration and Thermostability Studies, Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, e-mail: misurasy@gmail.com

***Misiura Ievgeniia*** – candidate of technical sciences, docent of the Department of Higher Mathematics, Economic and Mathematical Methods, Faculty of Training Foreign Citizens, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, e-mail: misuraeu@gmail.com

УДК 629.3

**Смирнов О.П., Багач Р.В., Мовчан Н.Г.**

# ЕВОЛЮЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЛІТІЙ-ІОННИМИ АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

*Дослідження еволюції систем управління літій-іонними акумуляторними батареями для електромобілів дає змогу виокремити три основні покоління розвитку BMS, окреслити перспективні напрями їх вдосконалення, а також визначити сучасні вимоги до розробки таких систем для ефективного функціонування батарей електромобілів.*
***Ключові слова:*** *акумуляторна батарея, балансування, електромобіль, моніторинг, прогнозування, система управління, хмарна система.*

*Analyzing the evolution of lithium-ion battery management systems (BMS) for electric vehicles reveals three primary generations of BMS development. It also enables the identification of promising directions for their advancement and the determination of current requirements for developing such systems to ensure the efficient performance of electric vehicle batteries.*
***Keywords:*** *battery, balancing, electric vehicle, monitoring, forecasting, management system, cloud system.*

Прогрес у розробці літій-іонних акумуляторів є ключовим фактором у поширенні електромобілів завдяки їхній високій енергетичній щільності, потужності та ефективності. Система управління акумуляторними батареями BMS (абревіатура від англ. Battery Management System) відіграє ключову роль в експлуатації електромобілів, забезпечуючи моніторинг струму, напруги, температури акумулятора, оцінювання рівня заряду, енергетичного ресурсу, загального стану батареї, виконує балансування напруги між акумуляторами, контроль теплових показників та своєчасне виявлення несправностей. Недостатній контроль за станом акумуляторної батареї може призвести до серйозних наслідків, таких як тепловий перегрів, перезаряджання чи дисбаланс.

Еволюцію систем управління літій-іонними акумуляторами можна розділити на три основні покоління:

- перше покоління систем управління акумуляторами BMS, відоме як "без управління", використовувалося в перших системах накопичення енергії акумуляторів і виконувало лише моніторинг напруги на клемах для контроля процесів заряду та розряду. Однак таке рішення вважалося малоефективним;

- наступне, друге покоління BMS під назвою "просте управління" стало удосконаленням попереднього підходу. Ця система забезпечувала підвищену точність вимірювань та рівень надійності, дозволяючи здійснювати моніторинг зовнішніх характеристик кожного акумуляторного елемента, таких як напруга, струм та температура. Однак через відсутність можливості онлайн-відстеження внутрішніх параметрів вона все ще вимагала складних процедур обслуговування;

- третє покоління систем управління акумуляторами, або "вдосконалена система управління акумуляторами", було оснащене покращеними функціями діагностики, такими як оцінка та аналіз поточного стану акумулятора, покращились механізми спостереження за його деградацією [1] та підвищенням безпеки. Незважаючи на це, навіть сучасні системи мають певні недоліки, які потребують подальшого вирішення.

Сучасна ефективна система управління літій-іонними акумуляторами BMS для електромобілів виконує такі основні завдання:

- здійснює моніторинг і регулювання напруги, струму й температури акумуляторів у межах безпечного діапазону;

- забезпечує управління енергоресурсами акумулятора, включаючи контроль напруги

(балансування) [2], струму під час заряджання та розряджання, а також терморегулювання;

- проводить оцінку та аналіз поточного стану заряду SOC (абревіатура від англ. State of Charge), стану енергії SOE (абревіатура від англ. State of Energy), технічного стану працездатності SOH (абревіатура від англ. State of Health), доступної потужності SOAP (абревіатура від англ. State of Available Power) і прогнозування залишкового терміну служби RUL (абревіатура від англ. Remaining Useful Life), тощо;

- виконує діагностику несправностей, прогнозує можливі збої в роботі та здійснює обробку виявлених порушень.

На рис. 1 представлена схема структурна системи управління акумуляторними батареями електромобіля.

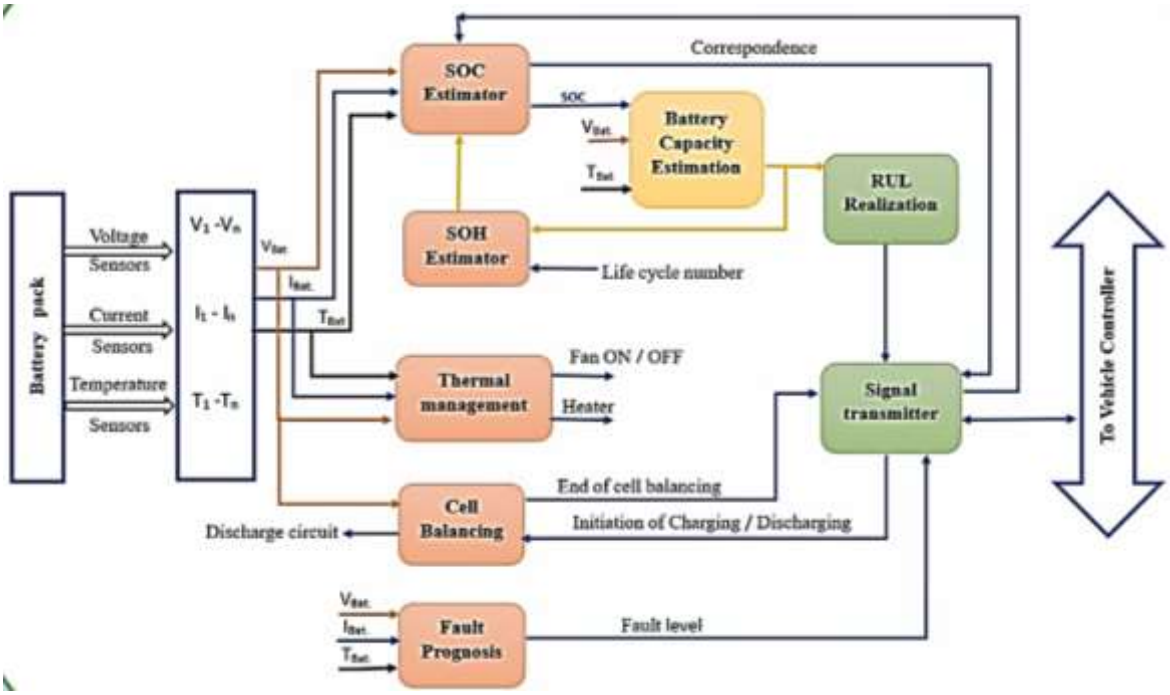



Рисунок 1 – Схема структурна системи управління акумуляторними батареями електромобіля [3]

Система управління акумуляторними батареями електромобіля отримує вхідні дані у вигляді показників напруги, струму та температури, які надходять від тягової акумуляторної батареї через відповідні сенсори. На другому етапі BMS проводить обробку цих даних з метою забезпечення точності оцінювання ключових параметрів, таких як стан заряду SOC, стан працездатності SOH, прогнозує залишковий термін служби RUL, тощо. Після завершення процесу оцінювання система формує і передає відповідні керуючі сигнали до всіх контролерів для забезпечення моніторингу та ефективного управління робочими режимами електромобіля.

Перспективні тенденції розвитку електромобілів визначають перелік вимог до систем управління акумуляторами електромобілів BMS:

- забезпечення більш високої точності й надійності вимірювань;
- відстеження та впровадження онлайн-моніторингу основних параметрів кожного елемента акумуляторного модуля;
- створення системи безперервного збору даних (подібно до чорної скриньки літаків) та інтеграцію цифрових двійників;
- адаптація до концепції V2X (абревіатура від англ. Vehicle-to-Everything, V2X) – підключення електромобілів до всього, що включає інтелектуальний зв'язок електромобіля з транспортними засобами, інфраструктурою та іншими пристроями;
- прогнозування стану акумуляторної батареї для раннього виявлення апаратних збоїв до рівня окремого елемента.

На рис. 2 продемонстровано принцип роботи хмарної системи обробки даних з акумуляторних батарей електромобілів в режимі реального часу.

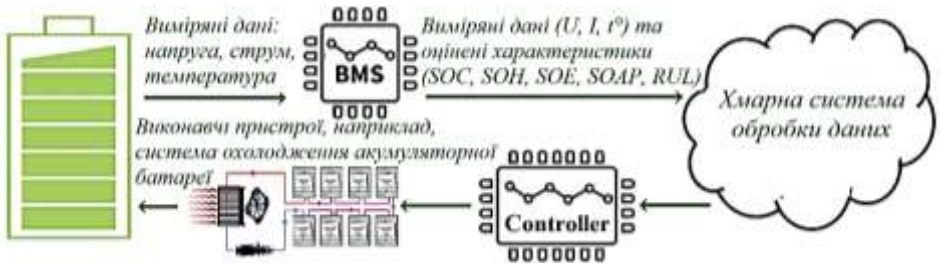



Рисунок 2 – Хмарна система керування акумуляторними батареями електромобілів

Реалізація цих функцій неможлива без сучасних сенсорних технологій для зчитування електрохімічних, термічних, тискових і напругових показників усередині батареї. При цьому підвищення точності датчиків спричиняє генерацію значно більших обсягів даних, що підсилює потребу у використанні технологій великих даних як на периферійному рівні (електромобілі), так і у хмарному середовищі.

**Список використаних джерел**

1. Смирнов, О., Борисенко, А. Розробка прогностичної моделі деградації ємності літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2025. № 27. С. 110–122. URL: https://doi.org/10.30977/veit.2025.27.0.1.

2. Смирнов, О., Борисенко, А. Іноземцев, Д.. Моделювання активного балансування елементів літій-іонних акумуляторних батарей в MATLAB/Simulink. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2025. № 28. С. 47–57. URL: https://doi.org/10.30977/veit.2025.28.0.5.

3. Chaudhari T., Chakravorty S. Analysis and advancements of the state of charge estimation methods in smart battery management system supported by lithium-ion battery operated electric vehicles. Next Energy. 2025. Vol. 8. P. 100337. URL: https://doi.org/10.1016/j.nxener.2025.100337.

***Смирнов Олег Петрович*** — доктор техн. наук, професор, професор кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд.201, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com)

***Багач Руслан Володимирович*** — доктор філософії (PhD), доцент кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд.201, e-mail: bagach.ruslan@gmail.com)

***Мовчан Нікіта Геннадійович*** — аспірант кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд.201, e-mail: nikitamovchan22@gmail.com)

***Smyrnov Oleh*** — Doct. of Science (Engineering), professor, Professor of the Department of Automotive Electronics of Kharkov National Automobile and Highway University (61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo Street, 25, room 201, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com),

***Bahach Ruslan*** — Ph.D., associate professor of the Department of Automotive Electronics of Kharkov National Automobile and Highway University, (61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo Street, 25, room 201, e-mail: bagach.ruslan@gmail.com).

***Movchan Nikita*** — postgraduate of the Department of Automotive Electronics of Kharkov National Automobile and Highway University (61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo Street, 25, room 201, e-mail: nikitamovchan22@gmail.com).

УДК 658.56:656.073:658.5

**Сніжко Л.Л.**

# ІННОВАЦІЇ В УПРАВЛІННІ ОПЕРАЦІЙНИМИ ПРОЦЕСАМИ ЯК ОСНОВА РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

*У дослідженні розглядаються ключові інновації, які змінюють традиційні підходи до організації вантажоперевезень, зокрема в аспектах управління транспортними процесами, взаємодії з клієнтами тощо. Запровадження доцільних та ефективних інновацій є важливим інструментом для забезпечення ефективного управління операційними процесами, що є критично важливим для виживання та сталого розвитку автотранспортних підприємств у сучасних складних умовах.*

***Ключові слова:*** *автотранспортне підприємство, інновації, інноваційні технології, операційний процес, транспортний процес, управління транспортними процесами, розвиток.*

*The study examines key innovations that redefine traditional approaches to organizing freight transportation, particularly in aspects such as transport process management and customer interaction. Implementing effective and appropriate innovations is a crucial tool for ensuring the effective management of operational processes, which is vital for the survival and sustainable development of road transport enterprises in today's challenging environment.*

***Keywords:*** *motor transport enterprise, innovations, innovative technologies, operational process, transport process, transport process management, development.*

Неоднорідність транспортного ринку формує мінливість умов і вимог до надання транспортних послуг зі сторони клієнтів і створює складнощі для управління операційною діяльністю підприємств. Якісне виконання замовлень в сучасних умовах функціонування транспортного бізнесу можливе лише завдяки сталому інноваційному, в т.ч. технічному та технологічному розвитку автотранспортних компаній. Ринок вимагає від автоперевізників постійного удосконалення усіх складових операційних процесів. При цьому інноваційні технології є визначальними в операційній діяльності автотранспортних підприємств, а також в розвитку операційних систем, в яких вони функціонують [1]. Незважаючи на зростання інтересу до інновацій з боку українських автотранспортних підприємств, необхідно констатувати істотне відставання України від зарубіжних перевізників-лідерів за кількістю та ефективністю їх впровадження. Проблеми використання інновацій в операційній діяльності автотранспортних підприємств є актуальними і сьогодні.

Для надання високоякісних автотранспортних послуг операційним менеджерам вкрай важливо розуміти потреби та уподобання клієнтів, адже на їх основі формуються пропозиції для задоволення очікуємих потреб замовників. Гнучкість вимагає від операційних менеджерів організаційних навичок, які можуть бути підкріплені відповідними інноваційними рішеннями.

Впровадження інновацій в АТП є стратегічним рішенням вищого керівництва і повинно бути ретельно обґрунтоване [2]. Для вирішення цього завдання автотранспортним підприємствам з позиції системного підходу необхідно досліджувати, аналізувати, оцінювати й своєчасно впроваджувати інновації у всі складові операційної діяльності, які є вигідними для підприємства. Під інноваціями у сфері автотранспортних послуг розуміють новостворені (застосовані) і (або) вдосконалені конкурентоздатні технології, продукція або послуги, а також організаційно-технічні рішення виробничого, адміністративного, комерційного або іншого характеру, що істотно поліпшують структуру та якість виробництва і (або) соціальної сфери [3]. Про важливість впровадження інновацій у транспортній галузі свідчить той факт, що в Україні розроблена «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» та затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1550 «Операційний план заходів з реалізації у 2025-2027 роках Національної транспортної стратегії України на

період до 2030 року», в якому передбачені заходи щодо створення умов для інновацій та інвестицій з урахуванням екологічних, безпекових та інших аспектів. Найважливіші напрями інноваційної діяльності на автомобільному транспорті: використання сучасних технологій для організації перевезень вантажів, автоматизація та інформатизація всіх ланок транспортного ланцюга щодо процесів обслуговування клієнтів [4].

Серед інновацій на вантажних автотранспортних підприємствах ключовими є інновації в управлінні транспортними процесами, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність операційної діяльності та і автомобільного транспорту в цілому.

Інновації в управлінні транспортними процесами охоплюють широкий спектр технологічних рішень, які підвищують ефективність і якість автотранспортних послуг. Це: інтелектуальні транспортні системи (ITS), транспортна аналітика (TMS), системи для управління дорожнім рухом; їх інтеграція з міськими системами для координації руху ТЗ; оптимізація маршрутів на основі алгоритмів з використанням GPS-навігації, програм для управління маршрутами (route optimization software); інтеграція ШІ та машинного навчання із сучасними технологіями; застосування Big Data та аналітики; інтеграція інтернет речей (IoT) та використання телематики; інтеграція мультимодальних перевезень; застосування хмарних технологій для зберігання даних; розумні системи складування та інтеграція роботизованих систем; моделі спільного використання ТЗ; автоматизована доставка вантажів у важкодоступні місця дронами та роботами тощо. Проаналізуємо основні з них.

Впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) та систем управління дорожнім рухом включають комплекс технологій для ефективного управління транспортними потоками на всіх етапах транспортного процесу. Це дозволяє оптимізувати маршрути, знизити затори, що, в свою чергу, підвищує точність доставки, зменшує час в дорозі та витрати пального. Завдяки автоматизації та моніторингу в реальному часі забезпечується краща інформованість водіїв, замовників та пасажирів. Оптимізація маршрутів за допомогою алгоритмів на основі штучного інтелекту, GPS-навігації, програм для управління маршрутами (route optimization software) у реальному часі дає змогу зменшити час доставки і операційні витрати, в т.ч. і пального. В результаті, зменшується кількість неефективних маршрутів, забезпечується своєчасна доставка вантажів. Інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання з сучасними технологіями управління транспортними процесами дозволяє автоматизувати рутинні завдання, економити час і витрати, оптимізувати логістику, передбачати потенційні проблеми і покращувати точність планування маршрутів. Інтеграція з міськими системами для координації руху транспортних засобів сприяє ефективному управлінні транспортними потоками, зменшенні заторів і оптимізації часу ТЗ у дорозі, зниженню витрат на пальне та рівня стресу у водіїв. Впровадження Big Data та аналітики дозволяє збирати та обробляти великий обсяг даних у реальному часі, що допомагає прогнозувати попит на послуги, ефективно планувати та оптимізувати транспортні процеси, розробляти стратегії завантаження автопарку для забезпечення ефективності його роботи, прогнозувати майбутні витрати тощо. Крім того, на основі аналізу великих даних виявляються тенденції і потенційні проблеми у системах управління транспортом, що дозволяє оперативно вживати заходів для підвищення надійності, безпеки та ефективності перевезень, знижуючи ризики. Інтеграція Інтернету Речей (IoT), що об’єднує дані, дає можливість здійснювати безперервний моніторинг стану автотранспортних засобів і вантажів у реальному часі, що покращує оперативність та надійність ланцюга поставок. Використання телематичних систем дає змогу постійно моніторити, збирати та аналізувати дані про автотранспортні засоби, відслідковувавати витрати пального, швидкості тощо, що використовується в управлінні перевезеннями та оцінці ефективності роботи водіїв. Завдяки точному відстеженню маршруту, швидкості, стану транспортного засобу та інших параметрів, ці системи сприяють зниженню ризику аварій, покращенню термінів доставки та зниженню операційних витрат. Інтеграція мультимодальних перевезень забезпечує прийняття більш гнучких та ефективних транспортних рішень, оптимізуючи час доставки і знижуючи витрати на перевезення завдяки поєднанню різних видів транспорту (автомобільний, залізничний, морський тощо) [5]. Крім того, мультимодальні перевезення сприяють зниженню негативному

впливу роботи транспорту на навколишнє середовище завдяки більш ефективному використанню ресурсів і зниженню викидів. Доступні і гнучкі системи транспортної аналітики (TMS) окремо чи як частина ITS, які впроваджуються для оптимізації планування, виконання і оперативного управління процесами транспортування, координації маршрутів вантажоперевезень, планування відвантажень і управління вартістю перевезень. Впровадження хмарних технологій для зберігання та доступу до даних у реальному часі дозволяє компаніям здійснювати миттєвий моніторинг та управління всіма етапами транспортного процесу. Це забезпечує швидкий доступ до актуальної інформації про стан перевезень для підвищення точності прогнозування, зниження ризиків та оперативного вирішення виявлених проблем. Використання розумних систем складування (smart warehousing), тобто автоматизованих (роботизованих) систем для обробки і зберігання вантажів підвищує ефективність управління запасами за рахунок скорочення часу обробки вантажів, зниження ймовірності помилок під час зберігання та перевезення товарів, прискорення процесів завантаження та розвантаження, дотримання точності відправок. Впровадження таких систем також підвищує прозорість і контроль за вантажообігом, що забезпечує кращу комунікацію з клієнтами і знижує ризики втрат чи пошкоджень вантажів. Впровадження роботизованих систем для завантаження та розвантаження автотранспортних засобів прискорює ці процеси, зменшуючи час, необхідний для підготовки транспорту до перевезення. Це не тільки підвищує оперативність виконання робіт по завантаженню-розвантаженню, але й знижує трудові витрати, покращує точність операцій і безпеку, зменшує час на обробку вантажів, ризик їх пошкодження та мінімізує людські помилки. Запровадження моделі спільного використання транспортних засобів за принципами sharing economy знижує витрати на утримання транспорту, підвищує його завантаженість. Завдяки цьому забезпечується доступність транспортних послуг для широкого кола споживачів, збільшується ефективність використання автопарку. Автоматизована доставка вантажів за допомогою дронів і роботів є на стадії розвитку в багатьох компаніях по всьому світу. На сьогодні вони в основному використовується для доставки малих партій, а також медичних вантажів, посилок у важкодоступні райони, зокрема у гірські та віддалені райони. Використання інноваційних пакувальних матеріалів, а саме розумного пакування для моніторингу умов зберігання вантажів: температура, вологість, удари тощо забезпечує безпеку вантажів та їх захист від пошкоджень під час транспортування. В результаті їх використання знижуються ризики, пов'язані з втратами чи пошкодженнями товарів, мінімізуються витрати на компенсацію цих втрат. Ці технології дозволяють зберігати високу якість вантажів під час транспортування і забезпечувати своєчасну доставку товарів в належному стані.

Інновації в управління транспортними процесами є найбільш широко використовуваними в практиці як зарубіжних, так і вітчизняних компаній, адже вони суттєво покращують як ефективність операційної діяльності, так і якість автотранспортних послуг. Так інтелектуальні транспортні системи (ITS) ефективно впроваджені такими компаніями як DHL Ukraine; Maersk та ін. [6, 7]. GPS-навігацію активно використовують Нова Пошта, Meest, Business Group Logistics, Zammler [8, 9, 10, 11] та інші, а технології штучного інтелекту – DHL Ukraine, XPO Logistics, ТрансГруп-1 [6, 12, 13] тощо. Успішно впровадили в операційну діяльність системи транспортної аналітики (TMS) – Zammler, КОРСА (Pakline Logistics) та інші [11, 14]; Big Data та аналітику вдало застосовують Нова Пошта, Kuehne + Nagel, Ekol Logistics, FedEx тощо [8, 15, 16]. Ефективно впровадили IoT, телематичні системи Нова Пошта, Kuehne + Nagel, Business Group Logistics, DHL Ukraine, КОРСА (Pakline Logistics) та інші [6, 8, 10, 14, 15]. Нова Пошта успішно використовує хмарні технології [8]. FM Logistic, DB Schenker Ukraine, Нова пошта, Ekol Logistics, DSV, XPO Logistics, Kuehne + Nagel, КОРСА (Pakline Logistics) та інші транспортно-логістичні компанії потужно використовують роботизовані технології для раціонального управління складськими операціями [8, 12, 14, 15-19]. Нова пошта, як відомо, вже тестувала доставку дронами до війни. Зараз відпрацьовує технологію їх застосування [8]. Компанія Ekol Logistics у внутрішньоукраїнській доставці доставляє вантажі дешевше за рахунок застосування інноваційної організаційної моделі за принципами sharing economy, тобто вико-

ристання партнерського транспорту: 94% перевезень виконується транспортом партнерів. Використання такої організаційної моделі дозволяє ефективно приймати рішення як замовникам, так і й колегам з ринку, взаємодіючи із ними як із клієнтами [16]

Це далеко не весь перелік інновацій та прикладів їх впровадження в операційну діяльність автотранспортних підприємств. Транспортні компанії у всьому світі активно інвестують в інновації, особливо в управління транспортними процесами, адже вважають що за ними майбутнє. Саме завдяки впровадженню інновацій вони змогли підвищити якість транспортних послуг і забезпечити лідерські позиції на ринку автоперевезень.

**Список використаних джерел**

1. Сніжко Л.Л. Інновації в операційному менеджменті автотранспортних підприємств як інструмент підвищення якості сервісних продуктів. *Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*. Київ: НТУ, 2025. Вип. 118.1.С.299-315. DOI:10.33744/0365-8171-2025-118.1-299-215
2. Сніжко Л.Л., Бузун Т.М., Разводовська В.О. Моделювання як науковий інструмент обґрунтування управлінських рішень в операційній діяльності підприємств транспорту. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Економічні науки». Науково-технічний збірник.* Київ: НТУ, 2021. Вип. 2 (49). С.162-172. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-2-49-162-172.
3. Закон України «Про інноваційну діяльність». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/40-15#Text.
4. Операційний план заходів з реалізації у 2025—2027 роках Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#n17.
5. Kedzior-Laskowska M. Technical and Technological Innovations and Quality in Road transport of Goods - Selected Aspects. *Transport Economics and Logistics.* 2019. Vol. 83. P. 51-62. DOI:10.26881/etil.2019.83.04.
6. Сайт DHL Ukraine. URL: https://www.dhl.com/ua-uk/home.html
7. Сайт Maersk. URL: https://www.maersk.com/
8. Сайт Нової Пошти. URL: https://novaposhta.ua/
9. Сайт Meest. URL: https://ua.meest.com/
10. Сайт Business Group Logistics. URL: https://business-group.com.ua/
11. Сайт Zammler. URL: https://www.zammler.com.ua/
12. Сайт XPO Logistics. URL: https://www.fps.com.ua/xpo-logistics/
13. Сайт Транс-Сервіс-1. URL: https://www.trans-service-1.com.ua/
14. Сайт КОРСА (Pakline Logistics). URL: https://pakline-logistics.ua/
15. Сайт Kuehne+Nagel. URL: https://ua.kuehne-nagel.com/uk/
16. Сайт Ekol logistics Ukraine. URL: https://www.ekol.com/en/countries/ukraine/
17. Сайт DB Schenker Ukraine. URL: https://www.dbschenker.com/ua-uk
18. Сайт FM Logistic. URL: https://www.fmlogistic.ua/
19. Сайт DSV. URL: https://www.dsv-ukraina.com.ua/

***Сніжко Лариса Леонідівна*** – к.е.н., доцент, доцент кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, e-mail: larasn14@gmail.com

***Snizhko Larisa*** – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management, National Transport University, e-mail: larasn14@gmail.com

УДК 621.113

**Соловйов М.Є.**

# ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Анотація. У роботі систематизовано сучасні (2020-2025) наукові підходи до підвищення енергоефективності електричних і гібридних автомобілів за різних умов експлуатації. Основну увагу приділено прогнозному управлінню з використанням даних Інтелектуальних транспортних систем, адаптивному управлінню енергією та вдосконаленим гібридним конфігураціям із паливними елементами, акумуляторами та суперконденсаторами .*

*Abstract. This work presents systematized modern (2020-2025) scientific approaches to improving energy efficiency in electric and hybrid automobiles under varying operating conditions. Key approaches include predictive control using Intelligent Transportation Systems (ITS) data, adaptive energy management strategies at both system and control levels, and advanced hybrid configurations integrating fuel cells, batteries, and supercapacitors.*

Покращення енергоспоживання електричних і гібридних транспортних засобів з урахуванням умов експлуатації широко досліджується, зосереджуючись на оптимізації керування силовим агрегатом, стратегій управління енергією та адаптації до різних сценаріїв руху.

Одним із перспективних підходів є використання інформації з інтелектуальних транспортних систем (ITS) для прогнозування умов руху та транспортних потоків. Таке прогнозування дозволяє гібридним електромобілям (HEV) експлуатувати компоненти силового агрегату в оптимальних режимах, що сприяє покращенню паливної економічності та підтримці заряду батареї. Наприклад, модифікація адаптивної стратегії мінімізації еквівалентної витрати (AECMS) із врахуванням прогнозованих факторів, таких як енергетичні потреби, рекуперативне гальмування та витрати на заряд/розряд батареї, продемонструвала за результатами моделювання покращення паливної економічності та перехідних режимів двигуна в HEV [1].

Окрім окремих алгоритмів керування, ключове значення для зменшення витрат пального та викидів у електричних силових системах транспортних засобів мають системні стратегії управління енергією. Як офлайн-оптимізація, що використовує знання про режими руху, так і стратегії, придатні для реалізації в реальному часі, демонструють значний потенціал. Ці методи визначають, коли генерувати, зберігати та споживати електроенергію, досягаючи економії пального та зниження викидів навіть без явного прогнозування циклів руху. Їхня адаптивність до різних конфігурацій HEV, наприклад із інтегрованими стартер-генераторами, додатково розширює сферу застосування [2].

Досягнення у створенні гібридних конфігурацій, що поєднують паливні елементи, акумулятори та суперконденсатори, також сприяють підвищенню енергоефективності. Завдяки інтеграції генераторів змінного та постійного струму, пов’язаних із колесами транспортного засобу, кінетична енергія може рекуперуватися та використовуватися для додаткового живлення, зменшуючи навантаження на паливний елемент. Системи керування, що використовують стійкі алгоритми штучного інтелекту, такі як адаптивні нейро-нечіткі системи виведення (ANFIS) та адаптивні системи з еталонною моделлю (MRAS), оптимізують характеристики крутного моменту та швидкості, досягаючи загальної ефективності енергопостачання понад 96% і знижуючи споживання пального на 25–35% [4].

Щодо керуючих підходів для HEV, самонавчальні стратегії, що використовують накопичені дані про умови руху, можуть динамічно налаштовувати ключові параметри, такі як еквівалентний коефіцієнт в алгоритмах мінімізації витрат. Це дозволяє ефективніше балансувати між економією пального та підтримкою заряду батареї порівняно з традиційними підходами, демонструючи значні покращення в стандартних циклах руху [3].

Стратегії управління енергією також повинні враховувати змінні реальні умови експлуатації. Дослідження, що порівнюють різні цикли руху (наприклад, NEDC і WLTP), показують вплив рівня заряду батареї та температури двигуна на викиди $CO_2$ і ефективність силового агрегату. Незважаючи на більш жорсткі випробувальні цикли, що підвищують питомі енергетичні вимоги, технології гібридних електромобілів зберігають або підвищують ефективність завдяки вдосконаленим стратегіям управління енергією, адаптованим до цих умов експлуатації [5].

Методи машинного навчання та штучного інтелекту дедалі частіше застосовуються для покращення оцінки та управління енергоспоживанням в електромобілях (EV) і HEV. Наприклад, трансферне навчання у поєднанні з рекурентними нейронними мережами дозволяє точно оцінювати енергоспоживання за різних траєкторій руху, що сприяє плануванню інфраструктури та збільшенню запасу ходу [6]. Крім того, стратегії управління енергією на основі ШІ — включаючи підходи, що базуються на знаннях, даних, навчанні з підкріпленням та гібридні методи — забезпечують адаптацію до динамічних умов, покращуючи паливну економічність і контроль викидів, хоча й мають труднощі з реалізацією в реальному часі та інтерпретованістю [3].

Також прогнозне управління енергією із застосуванням адаптивних нечітких систем виведення, налаштованих нейронними мережами, показало ефективність для важких HEV, оптимізуючи часові горизонти прогнозування на основі історичних даних про швидкість і стан батареї. Цей підхід зменшує споживання пального та обчислювальне навантаження порівняно зі стратегіями прогнозного керування з фіксованим горизонтом, підвищуючи здатність системи реагувати на змінні умови руху [8].

Оглядові дослідження підкреслюють, що поєднання теорії оптимального керування з методами штучного інтелекту дозволяє створювати стратегії управління енергією, які динамічно адаптуються до умов експлуатації, підвищуючи загальну енергоефективність транспортних засобів і забезпечуючи довговічність батарей та відповідність екологічним нормам [7].

Вагомий внесок у дослідження та вивчення гібридних і електричних транспортних засобів зроблено вченими Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Бажиновим О.В., Смирновим О.П., Двадненком В.Я. та Сєріковим С.А., які здійснюють роботи з удосконалення та оптимізації систем керування електричними двигунами, а також розробки синергетичних систем автомобілів з електричним приводом

Покращення енергоспоживання електричних і гібридних транспортних засобів у різних умовах експлуатації потребує інтеграції прогнозного керування, адаптивних стратегій управління енергією, оптимізації на основі штучного інтелекту та ефективних конструкцій гібридних систем. Сукупно ці підходи забезпечують значне зниження витрат пального, підвищення стабільності заряду батареї та зменшення викидів, одночасно адаптуючись до поточних і прогнозованих умов руху.

**Список використаних джерел**

1. Hadi Kazemi, Yaser P Fallah. Predictive AECMS by Utilization of Intelligent Transportation Systems for Hybrid Electric Vehicle Powertrain Control. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles. Jun 2017. doi: https://doi.org/10.1109/tiv.2017.2716839.

2. M. Koot, J.T.B.A Kessels. Energy Management Strategies for Vehicular Electric Power System. IEEE Transactions on Vehicular Technology. May 2005. doi: https://doi.org/10.1109/tvt.2005.847211.

3. Bin Huang Wenbin. Artificial-Intelligence-Based Energy Management Strategies for Hybrid Electric Vehicles: A Comprehensive Review Yu. Energies. Jul 2025. doi: https://doi.org/10.3390/en18143600.

4. Aissa Benhammou, Hamza Tedjini. Accurate and Efficient Energy Management System of Fuel Cell/Battery/Supercapacitor/AC and DC Generators Hybrid Electric Vehicles. Sustainability. Jun 2023. doi: https://doi.org/10.3390/en18143600.https://doi.org/10.3390/su151310102

5. Claudio Cubito, Federico Millo. Impact of Different Driving Cycles and Operating Conditions on CO2 Emissions and Energy Management Strategies of a Euro-6 Hybrid Electric Vehicle. Energies. Oct 2017. doi: https://doi.org/10.3390/en10101590

6. Yining Hua Michael Sevegnani. Fine-Grained RNN With Transfer Learning for Energy Consumption Estimation on EVs. IEEE Transactions on Industrial Informatics. Nov 2022. doi: https://doi.org/10.1109/tii.2022.3143155

7. Julakha Jahan Jui, Mohd Ashraf Ahmad. Optimal energy management strategies for hybrid electric vehicles: A recent survey of machine learning approaches. Journal of Engineering Research. Jan 2024. doi: https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.01.016

8. Benxiang Lin, Chao Wei. A Predictive Energy Management Strategy for Heavy Hybrid Electric Vehicles Based on Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System-Optimized Time Horizon. Energies. May 2024. doi: https://doi.org/10.3390/en17102288

***Соловйов Максим Євгенійович*** – аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: barhan.23.8@gmail.com

***Solovyov Maksym Evgeniyovych*** – postgraduate student, Kharkiv National Automobile and Road University, e-mail: barhan.23.8@gmail.com

УДК 621.355:004.8

**Стадник О.С., Морозюк С.В.**

# ДІАГНОСТУВАННЯ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

*У роботі запропоновано виконувати оцінку залишкового ресурсу свинцево-кислотних акумуляторних батарей за допомогою інтегральних критеріїв, що включають вплив таких факторів: стану заряду, стану здоров'я, напруги холостого ходу, внутрішнього опору та пускового струму. Рівень впливу кожного фактору визначено з допомогою штучного інтелекту.*

***Ключові слова:*** *свинцево-кислотна акумуляторна батарея, ємність, рівень заряду, внутрішній опір, інтегральний показник залишкового ресурсу*

*The paper proposes to estimate the residual life of lead-acid batteries using integral criteria that include the influence of the following factors: state of charge, state of health, open circuit voltage, internal resistance, and starting current. The level of influence of each factor is determined using artificial intelligence.*

***Key words****: capacity, charge level, internal resistance, integral indicator of residual life*

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї є важливою складовою частиною транспортного засобу з двигуном внутрішнього згорання. Завдяки малому внутрішньому опору свинцево-кислотні акумуляторні батареї можуть віддавати велику частину електричної енергії за короткий момент часу, що забезпечує стартерний пуск двигуна внутрішнього згорання. Відмова акумуляторної батареї призводить до неможливості запуску двигуна внутрішнього згорання. Тому надійність роботи і ефективна діагностика цього елементу транспортного засобу є дуже важливою.

Сьогодні поширені ряд діагностичних пристроїв для оцінки технічного стану свинцево-кислотних акумуляторних батарей, які дозволяють за кілька хвилин виміряти такі показники як стан заряду SoC, стан здоров'я SoH, напругу холостого ходу OCV, внутрішній опір та пусковий струм. На ринку поширені тестери акумуляторних батарей таких виробників як Foxsur, Autel, Autool та інші

Кожен показник несе певну діагностичну інформацію. Окремі показники корелюють між собою, та не мають високої тісноти зв'язку щоб можна було виключити той, чи інший показник. У роботі [1] запропоновано комплексну оцінку технічного стану стартерних акумуляторних батарей виконувати на основі таких показників як стан заряду SoC та стан здоров'я SoH (показник, що характеризує відношення максимальної енергії заряду акумулятора у даний момент часу до початкової). На наш погляд такий підхід не відображає повної інформаціє про технічний стан свинцево-кислотної акумуляторної батареї оскільки не враховує такий показник, як внутрішній опір, що характеризує технічний стан і умови роботи пластин акумуляторної батареї.

Тому, доцільно використовувати комплексну оцінку залишкового ресурсу акумуляторних батарей за допомогою інтегрального критерію, у якому показники впливу кожного фактору визначаються за допомогою штучного інтелекту.

**Мета роботи** полягає в обґрунтуванні інтегрального критерію комплексної оцінки залишкового ресурсу свинцево-кислотних акумуляторних батарей, що включає вплив стану заряду SoC, стану здоров'я SoH, напруги холостого ходу OCV, внутрішнього опору та пускового струму, де рівень впливу кожного критерію визначається за допомогою усередненої оцінки різних платформ штучного інтелекту.

**Методика та результати досліджень.** Діагностування акумуляторних батарей за допомогою визначення інтегрального показника залишкового ресурсу дозволяє виключити людський фактор та створює умови для автоматизації процесу.

Для виконання діагностичних досліджень свинцево-кислотні акумуляторні батареї з різним

технічним станом були заряджені та витримані протягом однієї доби для стабілізації. Вимірювання стану заряду SoC, стану здоров'я SoH, напруги холостого ходу OCV, внутрішнього опору та пускового струму було виконано за допомогою пристрою Foxsur FBT-300 (12V, 24V).

Інтегральний показник залишкового ресурсу акумуляторної батареї був визначений за формулою

$$I = k_1 SoH_n + k_2 r_n + k_3 CCA_n + k_4 OCV_n + k_5 SoC_n, \quad (1)$$

де $SoH_n$– нормалізоване значення стану здоров'я акумуляторної батареї, ч. од; $r_n$ – нормалізоване значення внутрішнього опору, ч. од; $CCA_n$ – нормалізоване значення струму холодного запуску ДВЗ, ч. од; $OCV_n$ – нормалізоване значення напруги холостого ходу, ч. од; $SoC_n$– нормалізоване значення стану заряду, ч. од; $k_1$, $k_2$, $k_3$, $k_4$ та $k_5$ – коефіцієнти впливу відповідних показників на інтегральний показник залишкового ресурсу акумуляторної батареї.

Нормалізація виміряних даних була виконана за формулами:

$$X_n = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (2)$$

$$X_n = \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}} \quad (3)$$

де $x$ – виміряне значення показника;

$x_{max}$ – максимально можливе значення показника;

$x_{min}$ – мінімальне значення показника.

За формулою (2) були нормалізовані спадні показники, а за формулою (3) зростаючі показники.

Мінімальні та максимальні значення показників, що вимірювалися для оцінки залишкового ресурсу акумуляторних батарей наведені у таблиці 1

Таблиця 1 – Мінімальні та максимальні значення показників, що вимірювалися для оцінки залишкового ресурсу акумуляторних батарей

| Показник | $x_{min}$ | $x_{max}$ |
|---|---|---|
| Стан здоров'я (SoH), % | 25 | 100 |
| Внутрішній опір, мОм | 1,5 | 20 |
| Струм холодного запуску ДВЗ CCA, А | 250 | значення вказане на акумуляторній батареї |
| Напруга холостого ходу, В | 11,8 | 12,9 |
| Стан заряду (SoC), % | 60 | 100 |

Для визначення інтегрального показника залишкового ресурсу акумуляторної батареї було написано промпт для штучного інтелекту: *«Ви експерт автоелектрик. Яку частку впливу на показник залишкового ресурсу стартерної свинцево-кислотної акумуляторної батареї будуть мати такі показники: стан заряду SoC, стан здоров'я SoH, напруга холостого ходу, внутрішній опір, електричний струм холодного запуску CCA. Вказані показники нормалізовані по максимальному і мінімальному значеннях. Відповідь підготуй у частках одиниці.»*

Запити проводилися з різних акаунтів з повторами протягом 6–8 квітня 2026 року. Значення коефіцієнтів варіації підтверджують однорідність даних. Отримані результати відображені у таблиці 2.

Отримане рівняння після підстановки значень коефіцієнтів впливу різних показників має вигляд:

$$I = 0{,}40 SoH_n + 0{,}233 r_n + 0{,}192 CCA_n + 0{,}098 OCV_n + 0{,}077 SoC_n, \quad (4)$$

Інтегральний критерій залишкового ресурсу акумуляторних батарей був розрахований для однієї батареї, що вийшла з експлуатації INTER 60 Ah, CCA 480 A і становив 0,230, батареї, що може забезпечити до трьох пусків бензинового ДВЗ у літній період EURO REPAIR 60 Ah – 0,305, CCA 540 A та батареї, яка експлуатується протягом одного року на автомобілі з дизельним ДВЗ GIGAVAT 100 Ah, CCA 830 A – 0,728.

Таблиця 2 – Коефіцієнти впливу показників свинцево-кислотних акумуляторних батарей на інтегральний показник залишкового ресурсу

| Показник | Коефіцієнти впливу, ч. од. | | | Середнє значення, ч. од. | Коефіцієнт варіації, % |
|---|---|---|---|---|---|
| | ChatGPT | Gemini | Deepseek | | |
| Нормалізований стан здоров'я (SoH) | 0,375 | 0,375 | 0,450 | 0,400 | 11,18 |
| Нормалізований внутрішній опір | 0,250 | 0,225 | 0,225 | 0,233 | 11,07 |
| Нормалізований ССА | 0,200 | 0,225 | 0,150 | 0,192 | 19,64 |
| Нормалізована напруга холостого ходу | 0,110 | 0,075 | 0,110 | 0,098 | 26,06 |
| Нормалізований стан заряду (SoC) | 0,065 | 0,100 | 0,065 | 0,077 | 29,36 |
| Сума | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | |

Отже, використання інтегрального показника залишкового ресурсу, що включає вплив кількох виміряних діагностичних параметрів свинцево-кислотних акумуляторних батарей з визначенням рівня впливу кожного фактору за допомогою штучного інтелекту дозволяє виконувати діагностування без впливу людського фактору. По мірі накопичення науково-практичної інформації у мережі методика може адаптуватися шляхом зміни вагових коефіцієнтів.

**Список використаних джерел**

1. H. Makogon, R. Suchko, V. Moskalenko, I. Kalinin, S. Burdin, V. Iksarytsia. Application of the correlation analysis mathematical apparatus for determination the lead‑acid batteries management and status control minimum diagnosis. *Advanced Information Systems.* Vol. 5, No. 1. Kharkiv, 2021. P. 129–135.

***Стадник Олександр Святославович*** – к.т.н., доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, 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.

***Oleksandr Stadnyk*** – PhD in technics, associate professor of Automobiles and Automobile Industry Department, Institute of Mechanics, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, o.s.stadnyk@nuwm.edu.ua

***Moroziuk Serhii*** – 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

УДК 656.078

**Тарасенко О.В., Обертінська В.О.**

# ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ НА РОЗВИТОК АВТОМОБІЛЬНОГО РИНКУ ЄВРОПИ

*У роботі досліджено вплив електричних автомобілів на розвиток автомобільного ринку Європи. Проаналізовано сучасну структуру ринку, динаміку продажів різних типів транспортних засобів та визначено ключові тенденції його трансформації. Встановлено, що стрімке зростання частки електрифікованих автомобілів супроводжується скороченням попиту на транспортні засоби з двигунами внутрішнього згоряння. Окрему увагу приділено впливу електромобілів на логістичні процеси, виробництво, інфраструктуру та суміжні галузі, зокрема трансформації ланцюгів постачання, розвитку зарядної інфраструктури та зміні умов функціонування автосервісів і паливного ринку.*

***Ключові слова:*** *електромобілі, автомобільний ринок, електрифікація транспорту, Європа, логістика, інфраструктура, сталий розвиток.*

*The paper examines the impact of electric vehicles on the development of the European automotive market. The current market structure, sales dynamics of different vehicle types, and key transformation trends are analyzed. It is determined that the rapid growth of electrified vehicles is accompanied by a decline in demand for internal combustion engine vehicles. Particular attention is paid to the impact of electric vehicles on logistics processes, manufacturing, infrastructure, and related industries, including supply chain transformation, charging infrastructure development, and changs in the operation of service stations and the fuel market.*

***Keywords:*** *electric vehicles, automotive market, transport electrification, Europe, logistics, infrastructure, sustainable development.*

**Вступ.** Автомобільна галузь є важливою складовою економіки Європи, яка забезпечує зайнятість мільйонів людей, формує значну частину промислового виробництва та впливає на транспортну логістику. Європейський автомобільний ринок є одним із найбільших у світі та характеризується високим рівнем технологічного розвитку, жорсткими екологічними стандартами та високою конкуренцією між виробниками. Традиційно основу ринку становили автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), однак останніми роками їх частка поступово зменшується. Пропонується проаналізувати вплив електричних автомобілів та динаміку змін автомобільного ринку ЄС.

**Метою дослідження** є аналіз динаміки автомобільного ринку Європи та оцінка впливу електричних автомобілів на структуру ринку, логістику та економіку.

**Основна частина**. За останні 10 років європейський ринок нових автомобілів кардинально змінився: частка дизельних автомобілів значно зменшилась, а електричних автомобілів — стрімко зросла, ставши лідерами продаж в багатьох країнах. Сучасний стан автомобільного ринку викликано змінами в поведінці споживачів. Одним із ключових факторів цих змін став розвиток електричного транспорту. Сьогодні, електромобілі розглядаються як стратегічний напрям сталого розвитку транспортної системи Європи, що сприяє зниженню викидів парникових газів, підвищенню енергоефективності та зменшенню залежності від викопного палива.

Аналіз основних тенденцій продажів за видами показує, що:

- Акумуляторні електромобілі (BEV + HEV, PHEV гібриди): Демонструють впевнене зростання. За останні роки вони перетворилися з нішевих продуктів на найбільш популярні авто. У 2025 році в Європі зафіксовано рекордні показники їх ввезення та продажу, а електромобілі очолили списки лідерів продаж.

- Дизельні автомобілі: Спостерігається стрімке падіння попиту. Через екологічні обмеження та популярність "зелених" технологій, їхня частка на ринку щороку зменшується.
- Бензинові автомобілі: Зберігають значну, але поступово знижувану частку, поступаючись гібридам та електрокарам.

Основними факторами, що впливають на ринок, є:
- екологічна політика ЄС;
- державні програми підтримки електромобілів;
- технологічний розвиток акумуляторних батарей;
- зміна споживчих пріоритетів;
- глобальні економічні та енергетичні кризи.

Потужна трансформація автомобільного ринку відбувається за рахунок зростання масштабів виробництва електромобілів. Їх частка зростає завдяки державним субсидіям, розвитку зарядної інфраструктури та зниженню вартості батарей.

За 2025 р. Європейський ринок нових автомобілів зріс на 2,4% до майже 13,3 мільйона реєстрацій легкових автомобілів. Незважаючи на найвищий річний обсяг продажів у Європі за шість років, європейський ринок нових автомобілів все ще був приблизно на 2,5 мільйона автомобілів меншим, ніж у 2019 році [1].

Згідно з даними ACEA, кількість реєстрацій нових електромобілів для пасажирських перевезень у Європейському Союзі, Великій Британії та країнах Європейської асоціації вільної торгівлі (ЄАВТ) за весь 2025 рік зросла на 29,7% з 1992803 до 2585187 од. [2, 3].




Рисунок 1 – Динаміка змін структури автомобільного ринку Європи

Аналіз змін показує, що частка електрифікованих автомобілів (BEV + HEV, PHEV гібриди) зросла з 24% (2020 р.) до понад 51% (2025 р.), що свідчить про швидку електрифікацію транспортного сектору Європи (рис. 1).

Електрифікація транспортних засобів впливає на логістичні процеси на всіх етапах життєвого циклу автомобіля. Зміни в конструкції автомобільних транспортних засобів впливають на технологічні процеси виготовлення нових автомобілів. Автовиробники змінюють структуру виробництва, переходячи на модульні електричні платформи. Зростає попит на літій, кобальт, нікель та рідкісноземельні метали, що змінює глобальні ланцюги постачання. Зростає потреба у спеціалізованому транспортуванні батарей, які є небезпечним вантажем. Це потребує нових стандартів упаковки, зберігання та перевезення.

Розвиток електромобільності в Європі стимулює створення зарядних станцій, енергетичних мереж та цифрових платформ управління транспортом. Замість вже існуючої мережи АЗС

необхідно будувати розвинену мережу зарядних станцій під потреби електричних автомобілів та плагін-гібридів. В міській інфраструктурі необхідно вбудовувати нові об'єкти – зарядні станції.

Також зміна структури ринку автомобілів Європи створює майбутні складнощі для власників АЗС – частка транспортних засобів з ДВЗ починає зменшуватися, відповідно будуть знижатися прибутки від продажу пального. Власникам АЗС необхідно вже зараз робити інвестиції в будівництво зарядних станцій, щоб «втриматися на плаву». Для власників СТО зміна ринку автомобілів також створює труднощі – необхідно шукати нових або навчати власних фахівців для роботи з електромобілями, готувати окремі бокси для їх ремонту та обслуговування. Придбати нове обладнання та інструменти під конструктивні особливості електричних автомобілів. Виробники технічних рідин (моторних мастил та охолоджуючої рідини) також починають стикатися з падінням обсягів продаж своєї продукції у зв'язку із зміною умов експлуатації та особливістю конструкцій нових силових агрегатів.

**Висновки.** Автомобільний ринок Європи перебуває у фазі масштабної трансформації, основним драйвером якої є електромобільність. Аналіз динаміки продажів показує значне зростання частки електрифікованих транспортних засобів та скорочення частки автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння. Електромобілі впливають не лише на структуру ринку, але й на логістичні процеси, виробництво, інфраструктуру та економіку. Учасникам ринку автомобільних транспортних засобів необхідно активно реагувати на динаміку змін структури легкового автомобільного парку Європи.

**Список використаних джерел**

1. Європа: аналіз продажів автомобілів та європейського ринку, 2025 р. URL: https://www.best-selling-cars.com/europe/2025-full-year-europe-car-sales-and-european-market-analysis/

2. New Electric Passenger Vehicle Registrations by European Country in 2025 URL: https://www.reportlinker.com/market-report/Electric-Vehicle/

3. European Automobile Manufacturers Association (ACEA). Statistics and Reports. URL: https://www.acea.auto/reliable-data-statistics/

***Тарасенко Олександр Віталійович*** – старший викладач кафедри «Транспортні технології» транспортного факультету Національного університету «Запорізька політехніка», e-mail: avt@zp.edu.ua.

***Обертінська Віолета Олександрівна*** – студентка групи Т-314 кафедри «Транспортні технології» транспортного факультету Національного університету «Запорізька політехніка», e-mail: vilttisde00@gmail.com.

***Tarasenko Oleksandr*** – senior lecturer of the Department of Transport Technologies, Faculty of Transport, National University «Zaporizhzhia Polytechnic», e-mail: avt@zp.edu.ua.

***Obertinska Violeta*** – student of the Department of Transport Technologies, Faculty of Transport, National University «Zaporizhzhia Polytechnic», e-mail: vilttisde00@gmail.com.

УДК 621.43

**Тарасенко С.М., Котов Д.О., Скремінський В.К., Ярошевський О.М.**

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ

*Широке застосування сучасних технологій в галузі автомобілебудування вимагає застосування більш якісних експлуатаційних матеріалів, в тому числі і якості очищення повітря, яке використовується для згорання пального в циліндрах. Звернемо увагу на інерційні жалюзійні сепаратори, які ефективно справляються з завданням попереднього очищення повітря в транспортних засобах. Ефективність роботи таких сепараторів напряму залежить від форми елементів сепарації, тому це слід враховувати при розробці тієї чи іншої системи попереднього очищення повітря, залежно від специфіки використання автомобіля.*

***Ключові слова:*** *транспортний засіб, газорідинний потік, інерційні жалюзійні сепаратори, сепарація крапельної вологи, сепаруючий елемент.*

*The widespread use of modern technologies in the automotive industry requires the use of higher quality operating materials, including the quality of air purification used for fuel combustion in cylinders. Let us consider inertial louver separators, which effectively cope with the task of preliminary air purification in vehicles. The efficiency of such separators directly depends on the shape of the separation elements, so this should be taken into account when developing a particular air purification system, depending on the specific use of the vehicle.*

***Key words:*** *vehicle, gas-liquid flow, inertial louver separators, droplet separation, separating element.*

Очищення повітря, яке надходить у двигун, є важливим процесом в якісній експлуатації двигунів внутрішнього згорання автомобільної техніки. Застосування повітряних фільтрів для забезпечення очищення повіря від пилу, бруду та дрібних частинок є поширеним у сфері експлуатації техніки, що мають на меті збільшення ресурсу двигуна і зменшення витрати пального. Застосування фільтрів з багатошаровими ситетичними матеріалами, фільтрів з активованим вугіллям та ін. забезпечують кращу фільтрацію, довший ресурс та ефективність роботи двигуна. Для якіснішого очищеня повітря з використанням фільтрів застосовують попереднє очищення повітря – жалюзійні сепаратори.

Найефективніші способи підвищення роботи жалюзійного сепаратора для попереднього очищення повітря в двигунах це оптимізація геометрії жалюзів, введення додаткових зон сепарації та удосконалення аспіраційних камер, що дозволяє зменшити втрати тиску, підвищити ступінь уловлювання пилу та продовжити ресурс двигуна.

Саме жалюзійні сепаратори є найефективнішими засобами попереднього очищення повітря. Завдяки правильно розрахованим конструкційним особливостям інерційних краплеуловлювачів є можливість покращити очищення технологічних пило та газових викидів з високошвидкісних газоповітряних потоків на впуску повітряного колектора автомобіля.

В районах високої запиленості використання жалюзійних сепараторів попереднього очищення повітря, обумовлене проблемами використання такими як швидке засмічення, зростання гідравлічного (аеродинамічного) опору та зниження ефектичності очищення, що призводять до перевантаження роботи двигуна та зменшення його ресурсу експлуатації. Виникає протиріччя між високими показниками очищення повітря від пилу та показниками втрати тиску (збльшення опору потоку).

Проблеми використання жалюзійних сепараторів на автомобілях військового призначання мають ряд негативних факторів, серед яких є надмірне накопичення пилу, що в свою чергу призводить до засмічення жалюзей та знижує пропускну здатність, адже частинки великої фракції можуть осідати, а дрібний пил проходить далі по каналам, створюючі навантаження на фільтри тонкого очищення. Також є показник аеродинамічного опору, який збільшується

при накопиченні пилу, що в свою чергу призводить до падіння тиску на вході двигуна. Нерівномірність очищення завдяки різнофракційному складу пилу, повітряний потік несе у собі пилові частки різних розмірів та щільності, саме жалюзі ефективніші проти вдносно більших частинок пилу, дрібнодисперсний пил проходить далі. Експлуатаційні витрати стають більшими в ході частого обслуговування елементів, що є критичним у військовій сфері застосування. Наслідком поганого очищення повітря від дрібнодисперсного пилу є прискорений знос циліндро-поршневої групи через проникнення дрідного пилу у систему змащення, також зростання витрати палива через падіння коефіцієнта наповнення циліндрів пальною сумішшю, тощо, що призводить до зменшеення ресурсу двигуна та збільшення витрат на ремонт.

В умовах високого запилення жалюзійні сепаратори ефективні як перший ступінь очистки повітря який варто поєднувати (комбінувати) з інерційними або циклонами, а також передбачати системи автоматичного видалення пилу.

Конструктивно оптимальним варіантом для якісного забезпечення очистки є розробка сепаратора, конструкція якого обладнується пакетом кругових жалюзійних решіток. Конструкційне виконання жалюзійних ґрат забезпечить сепараційний процес очищення та уловлювання крапель рідини та твердих часточок, після чого, досягаючи внутрішньої поверхні корпусу, вдаряються об неї, втрачають при цьому швидкість і утворюючи рідинну плівку під дією сили тяжіння, потрапляють у піддон сепаратора. Видаляються уловлені часточки та рідина із пристрою через зливний штуцер.

Саме базуючись на принципі роботи краплеуловлювачів з сепаруючими елементами, виконаними у формі плоскокільцевих, конфузорних та у формі спеціально профільованих лопаток, як є близькі між собою та мають майже однакову ефективність сепарації. Тому запропоновані конструкції можуть бути використані для попередньої очистки повітря в системі живлення автомобіля повітрям, які і забезпечать якісне очищення повітря та видалення сепарованих домішок з повітря, що забезпечить підвищення ефективності роботи системи впуску, снижения аеродинамічного опору та відтермінує ресурс фільтруючих елементів.

**Список використаних джерел**

1. Загальні принципи діагностування електронних систем керування автомобіля: навч. посіб. / О. Ф. Дащенко, В. Г. Максимов, О. Д. Ніцевич [та ін.]; за ред. М. Б. Копитчука. – О.: Наука і техніка, 2012. – 392 с.

2. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія : підручник / В. Г. Дяченко; за ред. А. П. Марченка. – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – 488 с.

3. Марченко А. П. Двигуни внутрішнього згоряння : підручник у 6-ти т. – Т.5 : Екологізація ДВЗ / А. П. Марченко, І.В. Парсаданов, Л. Л. Товажнянський, А. Ф. Шеховцов. – Х.: Прапор, 2004. – 360 с.

4. Приміський В. Стандарти і засоби вимірювання димності відпрацьованих газів дизельних двигунів / В. Приміський // Стандартизація. Сертифікація. Якість. - 2014. - № 3. - С. 17-21. 10. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями: ДСТУ 4276:2004.

***Тарасенко Сергій Михайлович*** — доктор філософії, старший викладач кафедри автомобільної техніки навчально-наукового інституту логістичного забезпечення Військової академії (м. Одеса) (65009, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога, 10, e-mail: ukrnet84@ukr.net).

***Котов Денис Олександрович*** — доктор філософії, доцент викладач кафедри автомобільної техніки навчально-наукового інституту логістичного забезпечення Військової академії (м. Одеса) (65009, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога, 10, e-mail: zvyagel.zt@ukr.net).

***Скремінський Віктор Казимірович*** — старший викладач кафедри автомобільної техніки навчально-наукового інституту логістичного забезпечення Військової академії (м. Одеса) (65009, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога, 10, e-mail: skreminsky@ukr.net).

***Ярошевський Олександр Миколайович*** — старший викладач кафедри автомобільної техніки навчально-наукового інституту логістичного забезпечення Військової академії (м. Одеса) (65009, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога, 10, e-mail: 1972yaroshevsky@gmail.com).

***Tarasenko Serhii*** — Doctor of Philosophy, Senior Lecturer, Department of Automotive Engineering, Educational and Scientific Institute of Logistics Support, Military Academy (Odessa) (65009, Odesa, 10 Fontanska Road, e-mail: ukrnet84@ukr.net).

***Kotov Denys*** — Doctor of Philosophy, Associate Professor, Department of Automotive Engineering, Educational and Scientific Institute of Logistics Support, Military Academy (Odessa) (65009, Odesa, Fontanska Road, 10, e-mail: zvyagel.zt@ukr.net).

***Skreminsky Viktor*** — Senior Lecturer, Department of Automotive Engineering, Educational and Scientific Institute of Logistics Support, Military Academy (Odessa) (65009, Odesa, Fontanska Road, 10, e-mail: skreminsky@ukr.net).

***Yaroshevsky Oleksandr*** — Senior lecturer at the Department of Automotive Technology of the Educational and Scientific Institute of Logistics Support of the Military Academy (Odessa) (65009, Odesa, Fontanska Road, 10, e-mail: 1972yaroshevsky@gmail.com).

УДК 629.3.017

**Тесля В.О., Гупка А.Б.**

# СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ДТП В ЗАХІДНИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ НА ПРИКЛАДІ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ З 2022-2025 РОКИ

*У доповіді проведено компаративний аналіз безпеки дорожнього руху в Україні та Тернопільській області протягом 2022-2025 років. Виявлено специфічну статистичну асиметрію на фоні загальнодержавного тренду до поступового зростання кількості ДТП, Тернопільський регіон демонструє стабілізацію летальності на рівні, суттєво нижчому за показники 2022-2023 років, попри інтенсифікацію транзитного трафіку.*
***Ключові слова:*** *статистичний аналіз, наслідки ДТП, летальність та травматизм коефіцієнт тяжкості наслідків.*

*The report provides a comparative analysis of road safety in Ukraine and the Ternopil region for 2022–2025. A specific statistical asymmetry was identified against the background of a nationwide trend towards a gradual increase in the number of road accidents, the Ternopil region demonstrates stabilization of mortality at a level significantly lower than the indicators of 2022–2023, despite the intensification of transit traffic.*
***Key words:*** *statistical analysis, consequences of road accidents, mortality and injuries, severity coefficient of consequences.*

Забезпечення безпеки дорожнього руху (БДР) в умовах воєнного стану залишається критичним аспектом національної безпеки. Державна стратегія до 2030 року орієнтована на концепцію «Vision Zero» — нульову толерантність до смертності на дорогах [1]. Дослідження динамічних рядів аварійності в транзитних хабах, яким є Тернопільщина, до-зволяє оцінити реальну ефективність превентивних заходів та інфраструктурних рішень [2].

Ретроспективний аналіз свідчить про стійке зростання кількості ДТП із постраждалими в Україні після спаду 2022 року.[3] Для об'єктивної оцінки ризиків використано коефіцієнт тяжкості наслідків (S) [4]

$$S = \frac{D}{D + I} \times 100 \quad (1)$$

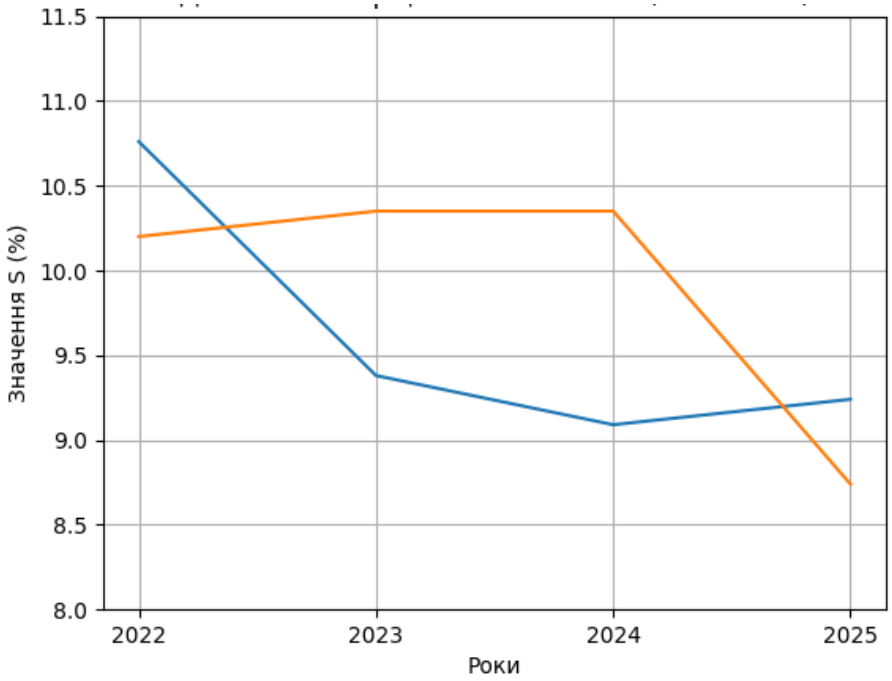
де D – кількість загиблих,
I – кількість травмованих осіб.

Таблиця 1 – Порівняльна динаміка основних показників

| Рік | Регіон | ДТП з постраждалими | Загинуло | Травмовано | Коефіцієнт тяжкості (S) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2022 | Україна | 18 628 | 2 791 | 23 145 | 10,76 |
| 2022 | Тернопільська | 546 | 80 | 704 | 10,20 |
| 2023 | Україна | 23 642 | 3 053 | 29 502 | 9,38 |
| 2023 | Тернопільська | 572 | 82 | 710 | 10,35 |
| 2024 | Україна | 25 781 | 3 201 | 32 019 | 9,09 |
| 2024 | Тернопільська | 604 | 70 | 731 | 8,74 |
| 2025 | Україна | 25 934 | 3 249 | 31 898 | 9,24 |
| 2025 | Тернопільська | 614 | 75 | 745 | 9,15 |

Дані за 2024-2025 роки підтверджують гіпотезу про якісний зсув попри зростання кількості подій, показник тяжкості в області залишається нижчим за рівень 2022-2023 років, що свідчить про вищу виживаність у ДТП.

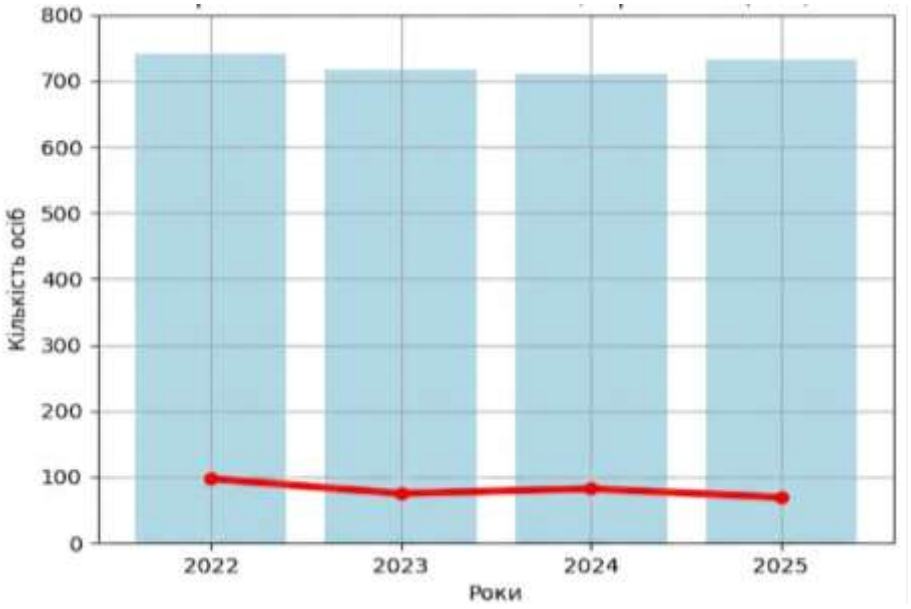
Порівняльна динаміка коефіцієнта тяжкості S за 2022-2025 роки. Цей графік ілюструє розбіжність трендів, загальноукраїнський показник після зниження почав незначно зростати у 2025 році, тоді як регіональний утримується на нижчих значеннях порівняно з початком періоду.




Синя лінія – Україна; помаранчева лінія – Тернопільська обл.

Рисунок 1 – Порівняльна динаміка коефіцієнта тяжкості S за 2022-2025 роки

Співвідношення летальності та травматизму в Тернопільській області. Візуалізація динаміки людських втрат, стовпчики травматизму демонструють стабільне зростання, водночас лінія смертності у 2024-2025 роках знаходиться нижче пікових значень минулих років.




Стовпчики – кількість травмованих; лінія – кількість загиблих

Рисунок 2 – Співвідношення летальності та травматизму в Тернопільській області

Фактори впливу та детермінанти. Виявлена асиметрія обумовлена певними чинниками. У 2025 році кількість ДТП у населених пунктах області знизилася, що свідчить про ефективність інженерних рішень, ремонтів дороги, удосконалення розв'язок в області [5]. Основне

зростання інцидентів генерують магістралі М-12 та М-19. Висока інтенсивність руху на них компенсується посиленням автоматичного контролю швидкості з подальшим висуненням постанови України за перевищення швидкості. Медичний аспект на фоні зменшення летальності в порівнянні із зростання травматизму вказує на покращення домедичної допомоги постраждалим [6].

Статистика 2022-2025 років доводить, що Тернопільська область успішно впроваджує елементи Vision Zero в урбаністичному середовищі, проте магістральні автошляхи потребують подальшої цифровізації контролю для стримування зростання тяжкості наслідків.

**Список використаних джерел**

1. Road safety in Ukraine: victories and new challenges in the context of war - Centre for Democracy and Rule of Law. URL: https://cedem.org.ua/en/news/road-safety-in-ukraine/
2. Гевко І. Б. Нові технології для підвищення безпеки дорожнього руху на пішохідних переходах та регульованих перехрестях / І. Б. Гевко, В. О. Тесля, М. Д. Сіправська, Б. Р. Гевко, Р. В. Хорошун // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11 (42), ч. II – Кропивницький, 2025. – С. 268–277.
3. Патрульна поліція. Статистика ДТП в Україні. URL: https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/
4. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів всіх спеціальностей / Укл.: Гуменюк О.Л., – Чернігів: НУЧП, 2020. – 39 с.
5. Тесля В.О., Сіправська М.Д. Оптимізація руху автомобіля при врахуванні дорожніх умов та технічного стану автомобіля / Матеріали XVI-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023. – ВНТУ Вінниця.
6. Batyrgareieva VS, Shramko SS, Samoilova OM. Mortality and injury in ukraine as a result of traffic accidents in measuring of public health: to the analysis of social- legal and criminological problem. Wiad Lek. 2021;74(11 cz 2):2870-2876. PMID: 35029548.

***Тесля Володимир Олегович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автотранспорту та логістики, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, (м. Тернопіль, вул, Руська, 56, e-mail: volodymyr_teslya@ukr.net).

***Гупка Андрій Богданович*** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автотранспорту та логістики, Тернопільський національний технічний університет, (м. Тернопіль, вул, Руська, 56, e-mail: gypkab@gmail.com).

***Teslia Volodymyr Olehovych*** – Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of Motor Transport and Logistics, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, (Ternopil, Ruska street, 56, e-mail: volodymyr_teslya@ukr.net).

***Andriy Bogdanovych Gupka*** – Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of Motor Transport and Logistics, Ternopil National Technical University, (Ternopil, Ruska street, 56, e-mail: gypkab@gmail.com).

УДК 629.113

**Титаренко В.Є.**

# ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕЗАМКНУТИХ ПРОФІЛІВ ПОПЕРЕЧИН ЗВАРНИХ РАМ АВТОМОБІЛІВ І НАПІВПРИЧЕПІВ НА РІВНОМІЦНІСТЬ ЇХ КОНСТРУКЦІЙ

*Дослідження стосуються вибору профілів конструктивних елементів поперечин для створення рівно міцної несучої конструкції лонжеронної драбинної рами. Заміною в зварній конструкції рами відкритих профілів поперечин (двотаврових, швелерних, z-подібних) на замкнуті (прямокутні, квадратні) вирішується проблема великих напружень стисненого кручення (за теорією Власова), які виникають в рамному контурі при найбільш критичних, косо-симетричних режимах навантаження. Така заміна є впливовим фактором на експлуатаційний ресурс рами.*

***Ключові слова:*** *рівно міцні конструкції, зварні рами, методика проектування, експлуатаційний ресурс, напруження стисненого кручення, замкнуті профілі.*

*The research concerns the selection of profiles of structural elements of crossbars to create an equally strong supporting structure of a ladder frame spar. Replacing the open crossbar profiles (I-beam, channel, Z-shaped) with closed (rectangular, square) in the welded frame structure solves the problem of large compressive torsional stresses (according to Vlasov's theory) that arise in the frame contour under the most critical, skew-symmetrical loading modes. Such replacement is an influential factor in the operational resource of the frame.*

***Key words:*** *equally strong structures, welded frames, design methodology, service life, compressive torsional stress, closed profiles.*

Проблема рівноміцності конструкції будь-якого виробу пов’язана з поняттями опору матеріалів такими як жорсткість, міцність, ресурс складових елементів і конструкції в цілому та прояв ефекту «слабкої ланки». Вищезазначена проблема може мати місце при відмовах в роботі конструкції, наприклад, із-за наявного ефекту «слабкої ланки», який усувається в період технічного обслуговування. Рівноміцність зварних рам автомобілів характеризується наближено однаковою міцністю та стійкістю всіх перерізів конструктивних елементів та їх з’єднань до дії навантажень Аналізуючи причини не рівноміцності, слід зазначити, що жорсткість визначається опірністю конструкції до деформування, міцність – стійкістю до руйнування, ефект «слабкої ланки» конструкції або системи слідує тоді, коли один елемент є значно слабкішим за інші і загальна міцність системи визначається саме цим елементом, а для аналізу критичних зон ефективною може бути перевірка виконання принципу рівноміцності. З проблемою рівноміцності тісно пов’язана величина експлуатаційного ресурсу, що є впливовим показником конструктивної досконалості при проектуванні. Забезпечення вимоги рівноміцності є важливою умовою надійності будь-якої системи чи конструкції виробу. Стосовно зварних рам автомобілів і напівпричепів, то їх надійність і довговічність тісно пов’язана з рівноміцністю складових: поздовжніх і поперечних конструктивних елементів та їх з’єднань.

Лонжеронні драбинні рами (ЛДР) є несучою основою багатьох конструкцій автомобілів та причіпних транспортних засобів (ТЗ). Необхідна жорсткість і міцність рами визначає правильне положення елементів автомобіля, що розміщені на ній. Рама сприймає навантаження від ваги у вертикальному напрямку, штовхальні та скручуючі зусилля - від руху автомобіля чи причіпного ТЗ. Напружено-деформований стан (НДС) зварних рам автотранспортних засобів (АТЗ) визначається навантажувальним режимом їх роботи та має вплив на експлуатаційний ресурс. Нормальним експлуатаційним навантажувальним режимом вважається такий, що забезпечує найбільший ресурс рами АТЗ – це режим багато циклової втоми ($Nx10^6$циклів). При цьому НДС таких рам не повинен мати перевищення допустимих еквівалентних напружень в поперечних перетинах та з’єднаннях конструктивних елементів.

Нами перевірялась гіпотеза про те, що при використанні відкритих профілів (двотаврових, швелерних, z-подібних) для виготовлення поперечин ЛДР, при найбільш критичному, кососиметричному навантаженні, НДС таких конструкцій в з'єднаннях елементів характеризується наявністю значних напружень стисненого кручення, згідно теорії Власова, які значно перевищують максимальні напруження згину лонжеронів, що порушує умови рівноміцності. Це пояснюється тим, що при стисненому крученні поперечні елементи рамного контуру, виготовлені із відкритих профілів, сприймають значні напруження відриву приварених полиць профілів поперечин, які і називають напруженнями стисненого кручення. Для проведення дослідження НДС таких рам була вибрана рама напівпричепа [1] з поперечинами відкритих незамкнутих профілів, з'єднаних зварюванням з вертикальними стінками двотаврових лонжеронів. При найбільш критичному кососиметричному навантаженні рами згином від ваги, коли одночасно зі згином лонжеронів скручуються поперечини, результати досліджень НДС показали не рівноміцність зварних з'єднань поперечин з лонжеронами відносно згинальної міцності поперечних перетинів лонжеронів, що значно впливає на їх надійність і довговічність. За результати тензометрії встановлено наявність значних напружень стисненого кручення в з'єднаннях таких поперечин. При номінальних вагових навантаженнях рами максимальні напруження стисненого кручення, з певним наближенням, на 50% перевищували допустимі згинальні напруження, що викликає появу ефекту «слабкої ланки» і відповідно - зниження експлуатаційного ресурсу та підтверджує висунуту гіпотезу. Різниця між максимальними напруженнями згину лонжеронів та стисненого кручення поперечин, при номінальному навантаженні, в загальній картині НДС рам може значно впливати на зменшення допустимих вагових навантажень таких конструкцій при забезпеченні експлуатаційного режиму багато циклової втоми. В зв'язку з цим зварні рами з поперечинами відкритих профілів на практиці експлуатуються в режимі мало циклової втоми, що зменшує їх експлуатаційні ресурси та ефективність використання.

За результатами досліджень для раціоналізації конструкцій зварних з'єднань ЛДР нами пропонується використовувати в якості профілів поперечин, замість відкритих поперечних перерізів, замкнуті (прямокутні, квадратні) відповідних розмірів, що виключає появу значних напружень стисненого кручення та переводить експлуатаційне використання таких конструкцій в режими багато циклової втоми, збільшуючи відповідно експлуатаційні ресурси.

**Список використаних джерел**

1. Титаренко В.Є. Напружено-деформований стан і довговічність рам напівпричепів. Дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Тернопіль, 2007 р. 201 с.

***Титаренко Володимир Євгенійович*** – канд.техн.наук, 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 574

**Тодоренко Д.В., Борисюк Д.В.**

# АНАЛІЗ ВОДНЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ПОЗИЦІЙ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

*У роботі розглянуто сучасний стан та перспективи розвитку водневої енергетики як одного з ключових напрямів переходу до сталого та екологічно безпечного енергопостачання.*
***Ключові слова:*** *воднева енергетика, водень, альтернативні джерела енергії, енергоефективність, транспорт, екологічна безпека.*

*The current state and prospects for the development of hydrogen energy as one of the key areas of transition to sustainable and environmentally safe energy supply are considered in the article.*
***Keywords:*** *hydrogen energy, hydrogen, alternative energy sources, energy efficiency, transport, environmental safety.*

Одним із ключових критеріїв оцінювання перспективності водневих транспортних технологій є їх енергоефективність у порівнянні з традиційними та електричними транспортними засобами. За результатами сучасних досліджень, сумарний коефіцієнт корисної дії (ККД) водневого транспортного ланцюга суттєво залежить від способу виробництва водню, технологій його зберігання, транспортування та кінцевого перетворення енергії в транспортному засобі [1].

Для автомобілів з паливними елементами (FCEV) ефективність перетворення хімічної енергії водню в електричну досягає 60–75 %, тоді як ККД сучасних двигунів внутрішнього згоряння навіть у оптимальних режимах не перевищує 40 % [2]. Додаткове підвищення енергоефективності забезпечується за рахунок рекуперації енергії гальмування та використання електроприводу з високим ККД.

Водночас при системному аналізі необхідно враховувати втрати енергії на етапі виробництва водню. Так, при паровій конверсії метану сумарний ККД ланцюга «паливо – колесо» становить близько 25–30 %, тоді як для «зеленого» водню, отриманого шляхом електролізу з використанням відновлюваних джерел енергії, цей показник може бути нижчим, однак компенсується значно меншим екологічним впливом [3].

Порівняльні дослідження показують, що за умови розвитку інфраструктури та підвищення ефективності електролізерів водневі автомобілі можуть бути конкурентоспроможними з акумуляторними електромобілями, особливо для важкого транспорту, автобусів, вантажівок і міжміських перевезень, де обмеження маси та часу заряджання акумуляторів є критичними [4].

З екологічної точки зору водневі транспортні технології розглядаються як один із найбільш перспективних шляхів зниження викидів парникових газів та забруднювачів повітря. При експлуатації автомобілів з паливними елементами відсутні викиди CO, оксидів сірки, сажі та летких органічних сполук, що істотно покращує якість повітря в міських агломераціях [5].

Однак сучасні наукові роботи наголошують на необхідності оцінювання екологічної безпеки водню з позицій життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA). Дослідження показують, що «сірий» та «блакитний» водень, отриманий із викопного палива, хоча і знижує локальні викиди в транспорті, не забезпечує повної декарбонізації енергетичної системи [6]. Натомість «зелений» водень, вироблений з використанням сонячної та вітрової енергії, дозволяє зменшити викиди $CO_2$ на 80–95 % у порівнянні з традиційними видами палива.

Окрему увагу в літературі приділяють питанням безпеки зберігання та транспортування водню. Сучасні композитні балони високого тиску, системи детекції витоків і міжнародні

стандарти безпеки дозволяють мінімізувати ризики, що підтверджується досвідом експлуатації водневих автомобілів у Японії, Німеччині та Південній Кореї [7].

Аналіз сучасних наукових і аналітичних джерел свідчить про активний розвиток воднев их транспортних технологій у провідних країнах світу. За даними міжнародних енергетичних агентств, до 2035 року водень може забезпечувати до 10 % енергоспоживання транспортного сектору [8].

Особливий інтерес становлять проєкти інтеграції водневого транспорту з «розумними» енергетичними мережами, де водневі автомобілі можуть виступати не лише споживачами, а й елементами балансування енергосистеми. Для України водневі технології є перспективними з огляду на значний потенціал відновлюваної енергетики та необхідність зменшення залежності від імпорту викопних енергоресурсів [9].

Наведемо порівняння трьох основних типів транспортних технологій — BEV (Battery Electric Vehicle), FCEV (Fuel-Cell Electric Vehicle) та ICE (Internal Combustion Engine) — з конкретними даними з наукових джерел 2019–2025 років. У таблиці 1 наведено ключові параметри енергоефективності, діапазонів, часу заправки/зарядки, а також емісій, що критично важливо для оцінювання перспектив впровадження альтернативних джерел енергії у транспорті.

Порівняльна характеристика транспортних технологій BEV, FCEV та ICE представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика транспортних технологій BEV, FCEV та ICE

| Показник | BEV (Battery Electric Vehicle) | FCEV (Fuel-Cell Electric Vehicle) | ICE (Internal Combustion Engine) |
|---|---|---|---|
| Енергоефективність (Well-to-Wheel) | Вища загальна ефективність передачі електричної енергії в рух: 70–90 % (ефективність батарей + електромотору) | Нижча через втрати при виробництві водню та перетворенні у паливному елементі (~25–35 %) | Найнижча загальна ефективність (~20–40 %), значні втрати тепла у ДВЗ |
| Час зарядки/заправки | Зарядка від 20 кВт: ~5 год (повільна), ~25 хв (швидка) | Близько 3 хв (аналогічно сучасній АЗС) | ~3–5 хв (типове для традиційних АЗС) |
| Запас ходу (практичний) | 270–350 миль (~435–560 км) за стандартними моделями | >400 миль (~>640 км) для сучасних моделей | Залежить від ємності бака (~400–800 км у середньому) |
| Емісії $CO_2$ (викиди на 100 км) | Залежно від джерел енергії: від ~52 г $CO_2$-екв./км при 100 % ВДЕ | Низькі «на виході» (нульові локальні), але залежить від водню: із зеленим воднем — значне скорочення | Високі: ~235 г $CO_2$-екв./км для середнього стандарту «Євро 6» |
| Запас енергії/ємність | ~80 кВт·год (Tesla Model 3) | ~5.6 кг $H_2$ ≈ 120 кВт·год екв. | Резерв бака залежить від розміру, ~50–70 л (~або екв. ~500 км ходу) |
| Придатність для транспортних задач | Міські поїздки, середній та малий транспорт | Довгі маршрути, важкий транспорт, швидка заправка | Широко доступний, інфраструктура існує |

Дані про ефективність BEV та FCEV: BEV мають вищу ефективність передачі енергії в рух у порівнянні з FCEV, оскільки останні зазнають внутрішніх енергетичних втрат при виробництві водню і його перетворенні у паливному елементі, що дає нижчу загальну ефективність (BEV ~70–90 %, FCEV ~25–35 %) [10].

Запас ходу, маса, викиди CO та параметри зарядки/заправки взяті із порівняння сучасних

моделей BEV та FCEV (напр., Tesla Model 3 vs Toyota Mirai XLE) із включенням показників викидів, часу зарядки, ваги тощо [10].

Емісії $CO_2$ BEV у зведених життєвих циклах показують значне скорочення в порівнянні із ICE при використанні відновлюваної електроенергії — BEV до ~52 г $CO_2$-екв./км проти ~235 г $CO_2$-екв./км у ICE за даними ICCT/EU аналізу [10].

Важливо оцінювати не тільки «вихлопні» локальні викиди, а й well-to-wheel / life-cycle emissions, оскільки загальний вуглецевий слід значною мірою залежить від джерела енергії (електрика, водень із електролізу чи SMR, бензин/дизель).

**Список використаних джерел**

1. Durkin K., Khanafer A., Liseau P., et al. (2024). *Hydrogen-Powered Vehicles: Comparing the Powertrain Efficiency and Sustainability of Fuel Cell versus Internal Combustion Engine Cars*. Energies. 17(5):1085. DOI: 10.3390/en17051085.
2. Małek A. (2025). *Low-Emission Hydrogen for Transport — A Technology Overview from Hydrogen Production to Its Use to Power Vehicles.* Energies. 18(16): 4425. DOI: 10.3390/ en18164425.
3. International Journal of Hydrogen Energy (2024). *Energy efficiency of hydrogen for vehicle propulsion: On- or off-board $H_2$ to electricity conversion?* 92:1493–1499. DOI: 10.1016/j.ijhydene. 2024.10.349
4. Renewable and Sustainable Energy Reviews (2025). *Hydrogen as a sustainable transportation fuel.* 217:115725. DOI: 10.1016/j.rser.2025.115725.
5. Frontiers in Energy Research (2025). *Energy efficiency of future hydrogen-based fuel supply chain routes for Germany's maritime demand*. 13:1600803. DOI: 10.3389/fenrg.2025. 1600803.
6. Review: challenges, processes, and innovations in high-pressure hydrogen storage technologies (2025). *International Journal of Material Forming.* Vol. 18, Art. 77. DOI: 10.1007/ s12289-025-01934-3.
7. Maksymenko B. (2025). *Огляд сучасних водневих технологій в енергетиці та транспорті. Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2(2025):80. DOI: 10.20535/1813-5420. 2.2025.327485.
8. Hussein Togun, Ali Basem, Tuqa Abdulrazzaq, Nirmalendu Biswas, Azher M. Abed, Jameel M. dhabab, Anirban Chattopadhyay, Khalifa Slimi, Dipankar Paul, Praveen Barmavatu, Amani Chrouda, Development and comparative analysis between battery electric vehicles (BEV) and fuel cell electric vehicles (FCEV), Applied Energy, Volume 388, 2025, 125726, ISSN 0306-2619, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125726.
9. S. Vengatesan, Arunkumar Jayakumar, Kishor Kumar Sadasivuni, FCEV vs. BEV — A short overview on identifying the key contributors to affordable & clean energy (SDG-7), Energy Strategy Reviews, Volume 53, 2024, 101380, ISSN 2211-467X, https://doi.org/10.1016/j.esr.2024. 101380.
10. ICCT REPORT. Life-cycle greenhouse gas emissions from passenger cars in the European Union. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://theicct.org/wp-content/uploads/2025/07/ID-392-%E2%80%93-Life-cycle-GHG_report_final.pdf

***Тодоренко Дмитро Віталійович*** — студент групи 1ТТ-23б факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету.

***Борисюк Дмитро Вікторович*** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

***Todorenko Dmytro*** – student of group 1TT-23b of faculty of mechanical engineering and transport of Vinnytsia National Technical University.

***Borysiuk Dmytro*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University.

УДК 656.13, 612.821

**Тюрдьо Н.О.**

# ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ БАГАТОСМУГОВОЮ ПРОЇЗНОЮ ЧАСТИНОЮ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ВОДІЯ

*Швидкість переміщення транспортних засобів має тісний зв'язок із забезпеченням належного рівня безпеки дорожнього руху. В цей же час на цю величину впливають поведінка водія та стан його організму. Відповідно до цього, актуальним є питання дослідження впливу швидкісних режимів руху транспортних засобів на функціональний стан водіїв та, у свою чергу, їхнього стану на безпеку учасників переміщення.*
***Ключові слова:*** *транспортний засіб, швидкість руху, водій, функціональний стан, безпека руху, надійність роботи водія, індекс напруження.*

*Vehicle speed is closely linked to ensuring an acceptable level of road safety. At the same time, this factor is influenced by driver behavior and the driver's physical state. Accordingly, it is important to study the impact of vehicle speed on the drivers` functional state and, in turn, the impact of their condition on the safety of road users.*
***Key words:*** *vehicle, speed, driver, functional state, traffic safety, driver reliability, stress index.*

Поняття «функціонального стану» (ФС) людини зараз отримало широке використання у різних напрямках діяльності як операторів, так і в бутті людини загалом. Часто цей термін традиційно застосовується у медичній сфері, зокрема й у спортивній медицині. В останньому, його розглядають як показник, що характеризує здатність організму досліджуваної особи ефективно витримувати та долати певні фізичні навантаження. В цей же час, у міру розвитку ергономіки, це поняття набуло широкого розповсюдження. Зокрема, його часто можуть використовувати для оцінювання рівня готовності операторів до належного виконання професійних завдань [1, 2].

На сучасному етапі розвитку транспортних систем, зокрема й такої, як «водій – автомобіль – дорога – середовище» (ВАДС), спостерігається значна кількість чинників, що можуть призводити до відмов у функціонуванні або зниження надійності. У випадку системи ВАДС найбільш уразливим її елементом є ланка «водій». Це зумовлено тим, що він постійно перебуває під впливом інтенсивних навантажень та змінних умов руху. В цей же час причинами порушення працездатності цієї ланки, можуть бути як помилки сприйняття, оцінювання та обробки інформації, так і поява психофізіологічної втоми, перевантаження та зниження рівня працездатності. Часто це все супроводжується змінами ФС організму водія та, як наслідок, підвищенням рівня аварійності руху і ймовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП) [2-4].

У свою чергу, потрібно відзначити, що швидкість руху транспортних засобів, зокрема перевищення встановлених обмежень, часто належить до основних чинників, що зумовлюють виникнення ДТП. Питання визначення та обґрунтування безпечної швидкості руху стало предметом численних досліджень як вітчизняних, так і закордонних науковців. Для прикладу, згідно з інформацією, наведеною у літературі [2], перевищення безпечної швидкості є причиною приблизно 23% усіх скоєних ДТП. В цей же час часто саме перевищення дозволеної швидкості руху виступало визначальним фактором аварійності та основним джерелом тяжких наслідків у скоєних ДТП з постраждалими. Як підтвердження цієї інформації також варто навести статистичні дані, відображені у роботі [5]. Вони свідчать про те, що при швидкості руху до 50 км/год ймовірність загибелі пішохода становить близько 20%, тоді як зі збільшенням швидкості до 80 км/год цей показник зростає майже до 60%. Це свідчить про стрімке підвищення тяжкості наслідків ДТП зі зростанням швидкості руху транспортного засобу.

Підсумовуючи вищенаведену інформацію, у цій роботі було проведено заміри зміни ФС

водіїв під дією швидкісних режимів руху на автомобільних дорогах з багатосмуговою проїзною частиною за межами населених пунктів. Дослідження здійснювалися із використанням легкових автомобілів. В якості індикатора ФС водія, використовувалося значення індексу напруження (ІН) його організму. Цей показник можна розрахувати за такою формулою [2, 6]:

$$IH = \frac{AMo}{(2dX \cdot Mo)}, \quad (1)$$

де *AMo* – частка кардіоінтервалів, які відповідають значенню моди;

*dX* – варіаційних розмах R-R інтервалів;

*Mo* – відображає кількість R-R інтервалів, які найчастіше зустрічаються в певному діапазоні запису.

Розрахунок та аналіз значення ІН здійснюється на основі даних щодо варіабельності серцевого ритму. Цю характеристику роботи серцево-судинної системи можна отримати шляхом статистичного аналізу значень R-R інтервалів між серцевими ударами. Для збору цих даних можуть використовувати різного роду обладнання, в тому числі і для записів електрокардіограми. Проте на сьогодні серед портативних та компактних технічних засобів реєстрації показників варіабельності серцевого ритму, можна виділити нагрудні пульсометри. Саме їх часто використовують у спортивній медицині. Це пов'язано з тим, що вони є компактними та не заважають здійснювати професійну активність [7]. У свою чергу, реєстрація швидкостей руху транспортних засобів здійснювалася із використанням відеореєстраторів з модулем для фіксування геоположення автомобіля на основі GPS сигналу.

Отримані дані під час здійснення польових досліджень, пізніше опрацьовувалися у лабораторних умовах. На основі отриманих статистичних даних створено графічну залежність зміни ІН водіїв від швидкостей руху транспортних засобів на автомобільних дорогах за межами населених пунктів та із багатосмуговою проїзною частиною (рис. 1).

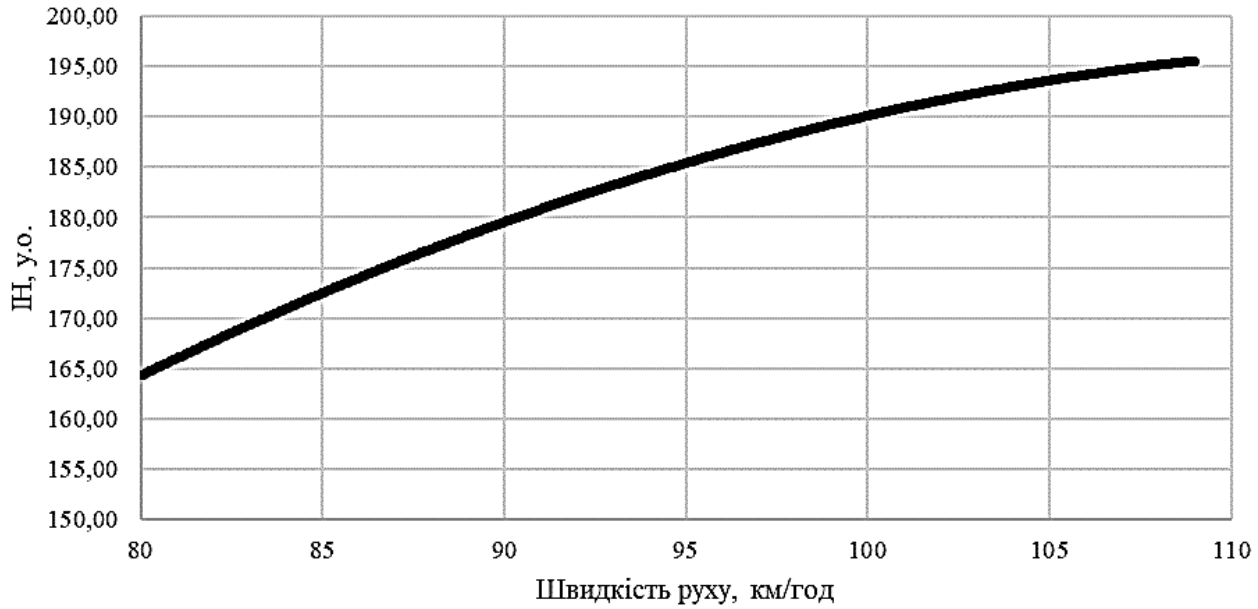



Рисунок 1 – Вплив швидкості руху автомобіля багатосмуговою проїзною частиною автомобільної дороги на ІН водія

Підсумовуючи, можна стверджувати, що швидкість руху транспортних засобів часто є одним із визначальних чинників щодо забезпечення належного рівня безпеки дорожнього руху. Так, зростання швидкості переміщення підвищує рівень психофізіологічного навантаження на водія. Це, у свою чергу, може призводити до зростання втоми, зниження точності сприйняття інформації, уповільнення реакцій та підвищення ймовірності помилкових дій та, як наслідок, виникнення аварійної ситуації і скоєння ДТП. Отримані результати досліджень

підтверджують наявність зв'язку між швидкісними режимами руху та змінами у ФС водія. Це свідчить про необхідність розглядати безпечну швидкість не лише як технічний або нормативний параметр, а як і величину обґрунтовану з погляду психофізіологічних особливостей водія, як оператор транспортного процесу. Окрім цього, потрібно відмітити той факт, що зростання швидкості руху суттєво підвищує ризик скоєння ДТП та їх тяжкості.

**Список використаних джерел**

1. Доля В. Пасажирські перевезення. Харків: Вид-во «Форт», 2011. 504 с.
2. Пострaнський Т., Кривенчук Ю. Психофізіологічні властивості водія та безпека дорожнього руху : монографія. Львів : Вид-во Тараса Сороки, 2022. 192 с.
3. Жук М., Афонін М. Вплив часу перебування за кермом та умов руху на функціональний стан водія. *Наукові нотатки*. 2014. Т. 45. С. 193–197.
4. Davidich Y., Kush Y., Ponkratov D. Change of car driver`s stress index during different periods of the day in urban traffic conditions. *Transport technologies*. 2020. Т. 1/2. С. 23–32.
5. Тиждень безпеки дорожнього руху в Україні: основні правила поведінки. URL: https://moz.gov.ua/uk/tizhden-bezpeki-dorozhnogo-ruhu-v-ukraini-osnovni-pravila-povedinki.
6. Пострaнський Т. Закономірності надійної діяльності водія в системі «водій – транспортний засіб – середовище» : дис. … канд. техн. наук : 05.01.04 / ХНАМГ. Харків, 2015. 164 с.
7. Фурман О. Hardware and software for road user`s functional state research. *VII Міжнародний молодіжний науковий форум «Litteris et Artibus» : матеріали, 23 – 25 листопада 2017 року*. Львів : Видавництво Львівська політехніка, 2017. С. 287–288.

***Тюрдьо Назар Олегович*** – аспірант, асистент кафедри трансопртних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (79000, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, e-mail: nazar.o.tiurdo@lpnu.ua).

***Nazar Tiurdo*** – PhD student, assistant of the Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University (79000, Lviv, Bandery Street, 12, e-mail: nazar.o.tiurdo@lpnu.ua).

УДК 656.025.2

**Форнальчик Є.Ю., Гілевич В.В.**

## НЕ УСІ ПРОБЛЕМИ ДОПОМОЖЕ РОЗВ'ЯЗАТИ ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

*На підставі виконаного аналізу даних про розвиток штучного інтелекту (починаючи від 1956р.) та використання його для управління транспортними засобами (з урахуванням Стратегії розвитку штучного інтелекту в Україні), а також сучасного досвіду можливостей використання його у вдосконалені управління транспортними потоками у містах, виявили окремі можливості застосування ШІ у транспортних системах, застосування його для блокування ворожих БПЛА; коректування нейромереж людського мозку без операційного втручання.*

***Ключові слова:*** *транспортна система, штучний інтелект, система блокування ворожих БПЛА, коректування нейромереж мозку.*

*Based on the analysis of data on the development of artificial intelligence (starting from 1956) and its use in vehicle control (taking into account the Artificial Intelligence Development Strategy in Ukraine), as well as the current experience regarding the possibilities of its application for improving traffic flow management in cities, several potential areas for the use of AI in transport systems have been identified. In particular, these include the application of AI for blocking hostile unmanned aerial vehicles (UAVs) and for the correction of neural networks of the human brain without surgical intervention.*

***Key words:*** *transport system, artificial intelligence, hostile UAV blocking system, neural network correction of the human brain.*

Історія виникнення штучного інтелекту налічує приблизно 70 років. Офіційним відліком вважається літо 1956 року, коли у найстарішому Дартмутському коледжі США відбувався науковий семінар. Дослідження, що обговорювались на ньому (нейронні мережі, теорія автоматів, інтелект), стали точкою відліку науки, що отримала назву «штучний інтелект» (ШІ), англійською «Artificial Intelligent» (AI). Цю назву – «штучний інтелект» – запропонував науковий працівник цього коледжу, американський інформатик та дослідник мислення Джон Маккарті у 1955 році. Упродовж наступних десятиліть наука про ШІ розвивалась з періодами як успіху, так і занепаду. Завдяки розробкам надпотужних комп'ютерів 5-го покоління у Японії, розвинені країни Європи та США створили та успішно розвивають сьогодні технології ШІ для вирішення соціально-технічних проблем і прискорення науково-технічного прогресу.

Перші спроби використання цих технологій зроблені у 1990 році для бездротового зв'язку між автотранспортними засобами і об'єктами інфраструктури (дороги, перехрестя, світлофори). Тоді на американській національній конференції обговорювали питання «розумної транспортної мережі» для підвищення безпеки руху, оскільки використання автомобіцлів у світі призводить до 1,2 млн. смертей та 20-50 млн. поранень щороку. У 2010р. Європейський Союз розробив і прийняв Директиву ЕС2010/40/ЕС «Про рамки розгортання інтелектуальних транспортних систем у сфері автомобільного транспорту». Було задекларовано, що метою цієї Директиви є забезпечення скоординованого узгодженого функціонування транспортної системи у всьому ЄС. При цьому почали широко залучати технології ШІ, зокрема з використанням сенсорних систем, інформаційно-комунікаційних технологій, моделювання, інтернет речей тощо.

В Україні з урахуванням досвіду Європи було розроблено науковий проєкт «Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні (2023-2030р.р.)». ШІ розглядається як система формування нових знань і прийняття на цій основі відповідних рішень. Стратегії сформульована мета «…створення передумов для післявоєнного відновлення економіки держави, насамперед безпеки й оборони, науки та освіти, забезпечення її стійкого розвитку на основі проривних

технологій ШІ та відповідного покращення добробуту і якості життя населення. Реалізація Стратегії здійснюватиметься у два етапи: 1-й етап – 2023-2025 рр.; 2-й етап – 2026-2030 рр. Головною науковою і координаційною рушійною силою визнано Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, до складу якого з 12.06.25р. увійшов колишній Інститут проблем штучного інтелекту Міносвіти і науки України та Національної академії наук України.

Серед сучасних науково-прикладних публікацій різних установ, які залучені до реалізації Стратегії, можна виявити низку таких, які сформовані на основі аналізу доробків закордонних авторів. Відомо, що кількість досліджень у галузі ШІ у 2023 р. серед університетів значно впала порівняно з 2022роком. Винятком є Національний університет «Львівська політехніка», у якому у 2017 році було створено кафедру систем штучного інтелекту. На цій кафедрі сформовано навчальну програму, за якою готують фахівців, здатних інноваційно діяти у сфері штучного інтелекту, ефективно застосовуючи свої знання та навики у практичній діяльності для наукових та бізнес-потреб у різних сферах. Програма спрямована на поєднання академічного знання з практичними навиками, що необхідні для критичного мислення та творчого підходу до розв'язання проблем. Університет серед українських університетів, збільшив кількість своїх досліджень у сфері ШІ.

Наведене означає, що тема ШІ є актуальною для вітчизняних досліджень. Вони присвячені переважно, наприклад, розробленню систем коригування маршрутів руху мобільних об'єктів (автомобілі, засоби пересування і роботизація складування матеріалів у замкнутих приміщеннях великих хабів, аеропортах, залізничних станцій тощо) [1]. Досліджувалась задача прогнозування транспортного трафіку в міському середовищі з використанням сучасних моделей штучного інтелекту [2]. Проблема є надзвичайно актуальною в контексті розвитку Smart City та інтелектуальних транспортних систем (ITC). Лише за останні 5 років у наукометричних базах (Scopus, IEEE Xplore, SpringerLink) є понад 8000 публікацій, присвячених тематиці застосування AI для моделювання, прогнозування та оптимізації транспортних потоків. З'явилися публікації щодо вдосконалення навігації БПЛА з використанням ШІ [3]. Це потрібно, однак, як переконують журналісти з передової, завдяки відповідній допомозі засобами і спеціалістами з-за кордону, уже зараз у цьому особливої проблеми немає.

Поглиблений аналіз науково-прикладних публікацій з ШІ і ситуацій на практиці дає можливість сформувати окремі питання, які, на наше переконання, становлять наразі непереборні проблеми. Й тому метою роботи стало виокремлення, серед відомих у Стратегії, лише, для прикладу, трьох проблемних питань, які актуальні для сучасного розвитку не лише України.

Виходячи із наведеного вище, суть викладу основного матеріалу зосереджувалась на змісті таких трьох проблемних питань З урахуванням наявних в інтернеті наукових публікацій за тематикою можливостей повної ліквідації заторів на ВДМ міст України можна зробити висновок, що досягнути цього на сьогодні неможливо. На окремих ділянках досягають за рахунок перевантажених інших. Однак в цілому подолати цю проблему з використанням різних програмних продуктів не вдається. Мова іде про чинну ВДМ, наприклад, у центральній міській мережі, яку реконструювати неможливо і через яку пролягають магістральні вулиці. Скеровувати транспортні потоки в об'їзні напрями з метою зниження їх інтенсивності й відповідно скорочення затримок за результатами опитування власників автомобілів сприймається негативно. Зверталися до технологій ШІ й отримали рекомендацію – зменшити кількість автомобілів у місті. Це очевидно також проти свідомості автомобілістів. Останні погоджуються з принципом більше стоїмо у заторах, ніж пересуваємося з внутрішнім (у салонах автомобілів) комфортом, програючи у тривалості запланованої поїздки. Це перше проблемне питання, яке ШІ не може розв'язати.

Друге – чому наукові зусилля не спрямовуються на блокування програмного забезпечення ворожих БПЛА, які летять (в реальному часі) над нашою територією і мігрують змінюючи маршрути; можливо з'явиться потреба у нас їх перепрограмувати з метою скерування польоту на не заселенні території і там скидання вибухових засобів і збивання цих

апаратів. Такі розробки мали б скоротити витрати на закупівлю озброєння і відпаде потреба у так званому «Залізному куполі» для великих міст.

Третє проблемне питання – якщо ми розібралися з нейронами штучного інтелекту – штучних нейромереж, які визначають поведінку неживих об'єктів, то чому не спрямувати зусилля фахівців із ШІ та висококваліфікованих психоаналітиків, щоб розібратися у відхиленнях від норми нейромереж людського мозку, звісно без операційного втручання; це дало б можливість навернути всезростаючу кількість психічно хворих молодих людей до нормального життя.

Наведене повинно зацікавити відповідних фахівців для, по-перше, усвідомлення невідкладної актуальності подальших досліджень і можливостей практичного використання технологій ШІ; по-друге, якнайшвидшого пошуку варіантів розв'язання цих, для прикладу, трьох надважливих проблем.

**Список використаних джерел**

1. Стасенко, Д.В., Островка, Д.В., Теслюк, В.М. Розроблення автономної системи керування мобільною робототехнічною системою з використанням моделей на підставі штучних нейромереж. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, вип. 6. С. 112-116. https://doi.org/10.36930/40310617.

2. Данчук В.Д., Сватко В.В., Марченко В.В., Попченко Є.С. Інтелектуальні транспортні системи як один з головних факторів реалізації концепції Smart Logistics. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. 2023. Вип. 1 (55). С. 89-97. https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-089-097.

3. Стасенко, Д.В., Яковина, В.С. (2023). Аналіз наявних методів і засобів удосконалення навігації БПЛА з використанням штучного інтелекту. *Науковий вісник НЛТУ України*. Т. 33, вип. 4, С. 78-82. https://doi.org/10.36930/40330411.

***Форнальчик Євген Юліанович*** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних технологій Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 32, ауд. 215а, 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» (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 32, ауд. 203, e-mail: volodymyr.v.hilevych@lpnu.ua).

***Fornalchyk Yevhen*** – 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 (79013, Lviv, Stepan Bandera Street, 32, room 215a, e-mail: yevhen.y.fornalchyk@lpnu.ua).

***Hilevych Volodymyr*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Technologies at the Institute of Mechanical Engineering and Transport of the Lviv Polytechnic National University (79013, Lviv, Stepan Bandera Street, 32, room 203, e-mail: volodymyr.v.hilevych@lpnu.ua).

УДК 656.1:519.87

**Хітров І.О.**

# МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ У МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕСАДОЧНИХ КОМПЛЕКСАХ

*У дослідженні розглядається роль моделювання як аналітичного інструменту для розуміння та оптимізації функціонування мультимодальних транспортно-пересадочних комплексів у рамках міських транспортних систем. Дослідження зосереджено на аналізі пасажиропотоків та транспортних потоків, процесів пересадки та взаємодії різних видів транспорту в межах пересадочних вузлів. Обґрунтовано застосування математичного та імітаційного моделювання як ефективного інструменту для оцінки експлуатаційних параметрів, виявлення обмежень пропускної здатності та оцінки альтернативних сценаріїв розвитку. Результати можуть бути використані для підтримки планових та управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності, надійності та пасажироорієнтації мультимодальних транспортно-пересадочних комплексів.*

***Ключові слова:*** *моделювання, транспортні процеси, мультимодальність, транспортно-пересадочні комплекси, пасажиропотоки, транспортні системи, імітаційні моделі.*

*The study examines the role of modeling as an analytical tool for understanding and optimizing the functioning of multimodal transport interchange complexes within urban transport systems. The research focuses on the analysis of passenger and transport flows, transfer processes, and the interaction of different modes of transport within interchange nodes. The application of mathematical and simulation modeling is substantiated as an effective tool for assessing operational parameters, identifying capacity constraints, and evaluating alternative development scenarios. The results can be used to support planning and management decisions aimed at improving the efficiency, reliability, and passenger orientation of multimodal transport interchange complexes.*

***Key words:*** *modeling, transport processes, multimodality, transport interchange complexes, passenger flows, transport systems, simulation models.*

Моделювання – це науковий метод пізнання, що полягає у створенні та дослідженні моделі об’єкта, процесу або системи, яка відтворює їхні істотні властивості, структуру та закономірності функціонування з метою аналізу, прогнозування та обґрунтування управлінських і проєктних рішень [1].

У широкому розумінні моделювання передбачає заміну реального об’єкта його формалізованим аналогом, що дозволяє вивчати складні, динамічні або важкодоступні процеси без прямого втручання в реальну систему. Модель може бути представлена у вигляді математичних залежностей, алгоритмів, графів, імітаційних схем, комп’ютерних програм або логіко-структурних описів [2-4].

З позицій інженерних і транспортних наук моделювання використовується для дослідження потокових процесів, оцінки пропускної спроможності, надійності та ефективності систем, а також для аналізу взаємодії елементів у межах складних техніко-організаційних комплексів. Воно дозволяє враховувати вплив різноманітних факторів – часових, просторових, поведінкових і стохастичних – та досліджувати систему в різних режимах роботи.

Ключовими функціями моделювання є пояснювальна (розкриття механізмів процесів), прогнозна (передбачення наслідків змін умов), оптимізаційна (пошук раціональних параметрів) і порівняльна (оцінка альтернативних рішень). Таким чином, моделювання виступає універсальним інструментом наукового аналізу та практичного проєктування, особливо в умовах складних і багатокомпонентних систем, до яких належать сучасні транспортні системи [5].

Моделювання транспортних процесів у мультимодальних пересадочних комплексах

охоплює сукупність науково-методичних і прикладних підходів, спрямованих на формалізований опис, аналіз та прогнозування взаємодії різних видів транспорту в межах транспортно-пересадочних вузлів. Такі комплекси виступають ключовими елементами міської та регіональної транспортної системи, забезпечуючи інтеграцію автобусного, тролейбусного, трамвайного, залізничного транспорту, метро, а також індивідуальних і мікромобільних засобів пересування.

У межах моделювання досліджуються пасажирські та транспортні потоки, їх часово-просторова структура, інтенсивність, нерівномірність і пікові навантаження. Особлива увага приділяється процесам пересадки: тривалості пішохідних переміщень, пропускній здатності платформ, переходів і вестибюлів, синхронізації розкладів руху та надійності стикування маршрутів різних видів транспорту. Це дозволяє оцінити комфорт, безпеку та доступність пересадок для різних категорій пасажирів [1-8].

Моделювання транспортних процесів у мультимодальних пересадочних комплексах також передбачає аналіз експлуатаційних параметрів: інтервалів руху, обіговості рухомого складу, режимів роботи зупинок і платформ, організації руху в зоні під'їздів та від'їздів. Застосування макро-, мезо- та мікроскопічних моделей дає змогу дослідити як загальну ефективність функціонування комплексу, так і локальні «вузькі місця», що обмежують його пропускну спроможність [6, 7].

Важливою складовою є сценарне моделювання, яке використовується для оцінки впливу змін у структурі маршрутної мережі, впровадження нових видів транспорту, зростання попиту на перевезення або реалізації інфраструктурних рішень. Це створює наукове підґрунтя для обґрунтування планувальних і управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності, стійкості та пасажироорієнтованості мультимодальних пересадочних комплексів у системі міського транспорту [8].

Крім того, моделювання дозволяє проводити аналіз ризиків та оцінку чутливості системи до різних факторів, таких як зміни в пасажиропотоці, погодні умови, технічні несправності чи аварійні ситуації. Це дає змогу заздалегідь виявляти потенційні проблеми, оптимізувати розподіл ресурсів та підвищувати надійність і безпеку роботи пересадочних комплексів. Використання таких підходів забезпечує комплексний і системний погляд на функціонування транспортних вузлів та підтримує прийняття обґрунтованих стратегічних і тактичних рішень у міському транспортному плануванні.

Таким чином: 1. Моделювання є універсальним науковим методом дослідження, що забезпечує формалізований опис складних об'єктів і процесів шляхом створення їх узагальнених моделей, які відтворюють ключові властивості та закономірності функціонування реальних систем.

2. Застосування моделювання дозволяє аналізувати динамічні та багатофакторні процеси без прямого втручання в реальну систему, що є особливо важливим для дослідження транспортних, інфраструктурних та інших техніко-організаційних комплексів.

3. Моделювання забезпечує можливість прогнозування поведінки системи за різних умов функціонування, оцінювання наслідків управлінських і проєктних рішень, а також порівняння альтернативних варіантів розвитку.

4. Використання математичних, імітаційних і комп'ютерних моделей сприяє виявленню критичних параметрів і «вузьких місць» у системі, що створює передумови для підвищення її ефективності, надійності та стійкості.

5. У цілому моделювання виступає ключовим інструментом наукового обґрунтування рішень і оптимізації процесів, забезпечуючи системний підхід до аналізу, планування та розвитку складних соціально-технічних систем, зокрема транспортних.

**Список використаних джерел**

1. Хітров І. О. Транспортна модель та її створення в середовищі макромоделювання. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків. 2025. Вип. 211. С. 215-224. https://doi.org/10.18664/1994-7852.211.2025.327165.

2. Осєтрін М. М., Беспалов Д. О., Дорош М. І. Основні принципи створення транспортної моделі міста. *Містобудування та територіальне планування*. Київ : КНУБА, 2015. Вип. 57. С. 309–320. https://repositary.knuba.edu.ua/bitstreams/966e763f-8870-4407-bc49-0ef9ab627c6c/download

3. Renátó Besenczi, Norbert Bátfai, Péter Jeszenszky, Roland Major, Fanny Monori, Márton Ispány. Large-scale Analysis and Simulation of Traffic Flow using Markov Models. *PLoS ONE*. 2021. 16(2). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246062.

4. О. В. Шарко, А. В. Букетов, К. М. Клевцов, О. О. Сапронов, О. В. Акімов. Моделювання транспортно-логістичних схем вантажних перевезень в умовах глобальних ризиків. *Проблеми тертя та зношування*. 2023, 3 (100). С. 94-105. http://dx.doi.org/10.18372/0370-2197.3(100).17899.

5. Хітров І. О. Ключові аспекти моделювання транспортних процесів і систем. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : збірник тез XVII міжнар. наук.-практ. конфер., 21-23 жовтня 2024 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2024. С. 237–238. https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/237.pdf

6. Hantong Wang, Ziyi Shi, Yong Chen, Zheng Zhu, Xiqun Chen. Transportation Simulation Modeling and Location-Based Services Data Completion Based on a Data and Model Dual-Driven Approach. *Applied Sciences*. 2024, 14, 4366. https://doi.org/10.3390/app14114366.

7. Любий Є. В., Пономарьова Н. В., Чернишова О. С. Транспортне планування міст: сучасні інструменти транспортного моделювання автотранспортних систем. *Комунальне господарство міст*. 2016, Вип. 128. С. 76–82. https://eprints.kname.edu.ua/43470/1/4776-9493-1-SM.pdf.

8. Khitrov I. Modeling the interaction of different types of transport at multimodal hubs. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: зб. тез V Міжнарод. наук.-техн. інтернет-конфер., 14-16 травня 2025 року. Рівне : НУВГП, 2025. С. 59-60 https://ep3.nuwm.edu.ua/31662/.

***Хітров Ігор Олександрович*** – к.т.н., доцент, в.о., завідувача кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування (33028, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, ауд. 335, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua).

***Khitrov Ihor*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Acting Head of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering (33028, Rivne, Oleksi Novaka Street, 77, room 335, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua).

УДК 681.518.5

**Худяков І.В., Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Черненко В.В.**

# ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПІДХОДІВ КЕРУВАННЯ СТАНОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТИАЦІЇ

*Автомобільний транспорт продовжує залишатися з наземних видів транспорту найбільш ресурсномістким для населення і навколишнього середовища.*

*Технічна експлуатація автомобыльного транспорту, за визначенням є однією з найважливіших підсистем автомобыльного транспорту, яка, в свою чергу, являє підсистему транспорту в структурі досить складної транспортно-комунікаційної програми держави.*

***Ключові слова:*** *автомобільний транспорт, технічна експлуатація, адаптивна система.*

*Road transport continues to be the most resource-intensive of the land transport modes for the population and the environment.*

*Technical operation of road transport, by definition, is one of the most important subsystems of road transport, which, in turn, is a transport subsystem in the structure of a rather complex transport and communication program of the state.*

***Key words:*** *road transport, technical operation, adaptive system*

Процеси експлуатації автотранспортних засобів (АТЗ) супроводжуються присутністю ряду негативних наслідків, серед яких є витрата значної кількості палива, забруднення навколишнього середовища тощо. Враховуючи вплив цих процесів на зовнішнє середовище і, як результат, необхідність прийняття рішень щодо розробки протидії цьому явищу, адекватних результатам, що досягаються, треба мати необхідний обсяг достовірної інформації про параметри експлуатації АТЗ.

Автомобільний транспорт (АМТ) продовжує залишатися з наземних видів транспорту найбільш ресурсномістким для населення і навколишнього середовища.

АМТ витрачає більше 60% палива нафтового походження, 70% трудових ресурсів, викликає більше 96% дорожньо-транспортних пригод. На автомобільний транспорт припадає, відповідно до оцінок, 40-50% забруднення навколишнього середовища, в тому числі у великих містах – 60-70%, а в мегаполісах – більше 85%. При цьому не менше 25% забруднень пояснюється технічним станом автомобілів і виробничою діяльністю АМТ [1].

Технічна експлуатація АМТ (ТЕ АМТ), за визначенням є однією з найважливіших підсистем АМТ, яка, в свою чергу, являє підсистему транспорту в структурі досить складної транспортно-комунікаційної програми держави [2].

Транспортний комплекс - це велика і дуже складна система, що динамічно розвивається, а безпосередньо сам транспорт - добра якість для людства, яке задовольняє одну з найважливіших потреб людини - потреба в переміщенні, долаючи простір і час.

Необхідність кваліфікованого визначення сучасних складових адаптивної системи ремонту та технічного обслуговування (РТО) підтверджується досить складною структурній схемі інтелектуальної системи управління транспортом.

В цілому аналіз існування і створення адаптивних систем РТО дозволяє підкреслити актуальність питання інформаційного забезпечення прогресивних систем РТО.

Розвиток інформаційного забезпечення автотранспортних процесів є:

По-перше, умовою переходу автомобільного транспорту в автоматизованого управління технічним станом автомобілів на підставі гнучких «адаптивних» автоматизованих систем з індивідуальною корекцією періодичності та обсягів технічного обслуговування.

По-друге, інформаційне забезпечення комп'ютеризованого оперативного планування РТО і прогнозування технічного стану та можливих несправностей автомобілів є ключем до автоматизації контролю технічного стану і працездатності автомобіля.

По-третє, створення локальних інформаційно-обчислювальних комплексів на базі комп'ютеризованих засобів технічної діагностики та новітніх засобів обчислювальної техніки становить основу сучасної автоматизації АМТ.

По-четверте, комп'ютеризація діагностичної техніки є ключовим напрямком сучасного розвитку діагностики автомобілів.

По-п'яте, успіх використання комп'ютерної техніки АМТ залежить в першу чергу від відповідного забезпечення процесів організації РТО [3, 4].

Суть системи станом полягає в тому, що технічні впливу проводиться для вироби тільки при досягненні ним контрольованих параметрів свого критичного рівня, тобто гранично допустимого стану. На практиці для реалізації такої системи РТО необхідно спеціальне контрольно-діагностичне обладнання і в цілому вміння фахівців інженерно-технічної служби, вимірювати безперервно або періодично контрольовані (діагностичні) параметри вироби. Сьогодні такі системи успішно впроваджуються в світі техніки багатьма зарубіжними фірмами. Вони отримали назву «Condition Monitoring», а в сучасній термінології ТЕАТЗ – це «індивідуальні» системи РТО або «адаптивні» [5].

Змішана система об'єднує в собі елементи двох систем (з напрацювання, станом). Це найбільш поширена в сучасному світі техніки система РТО, яка застосовується, наприклад, для машин: транспортних, сільськогосподарських, будівельних і багатьох інших. Система РТО в залежності від методу встановлення періодичності та обсягу технічних впливів, розділяється на середньостатистичну і діагностичну [2].

У деяких випадках великі транспортні компанії на підставі наявного досвіду і специфіки експлуатації застосовують «свої» тактики РТО при збереженні загальних принципів планово-попереджувального системи і використанні базових нормативів.

На АМТ найбільш поширеною є система середньостатистична. Це традиційна для автомобільного транспорту загального користування система РТО, яка в своїй основі спирається на математичний апарат теорії ймовірності та математичну статистику. Це теорії, які дозволяють дослідникам встановити для автомобілів середньостатистичні норми пробігу і трудомісткості їх технічних впливів, які потім, за допомогою застосування ряду коефіцієнтів коригування, використовуються інформаційними транспортними системами (ІТС) для конкретного автомобіля [5, 6].

Стратегія технічного обслуговування стає все більш важливою темою, в зв'язку з великим числом старіючих автоматизованих систем курування автотранспортних засобів (АСК АТЗ) в розвинених країнах, і нестачі кваліфікованого персоналу в інших частинах світу. Мета стратегії технічного обслуговування - досягти максимальної доступності АСК АТЗ на виробництві, без шкоди для безпеки і зайвих витрат. Доступність в даному контексті визначається як стан, при якому виробнича система може використовуватися, і функціонує правильно. Коли доступність менше 100%, губляться доходи.

Аналіз останніх досліджень. До 2022 року ринок і запит на рішення для інтелектуального обслуговування збільшаться в сім разів, або ж до $10 млрд в грошовому вираженні, це стане одним з головних трендів технологічної модернізації.

Сама технологія інтелектуального обслуговування ґрунтується на методології обслуговування на підставі надійності (RCM).

Обслуговування по надійності (RCM - reliability centered maintenance). Охоплює широку сферу діяльності і часто включає в себе інші стратегії. Обслуговуванням по надійності називають процес визначення мінімального безпечного рівня обслуговування.

RCM - комплексний інженерний підхід, метою якого є виконання всіх робіт, необхідних для забезпечення найвищого рівня надійності обладнання, при мінімальних витратах на обслуговування [3-5].

Концепція «обслуговування, націленого на надійність» або ОНН (Reliability Centered Maintenance, RCM), підказує деякі корисні ідеї і підштовхує до роздумів. ОНН передбачає використання або поліпшення програми технічного обслуговування шляхом використання си-

стематичного структурованого підходу, що ґрунтується на оцінці наслідків відмов, функціональної важливості компонентів системи, а також історії їх відмов обслуговування. Своїм корінням концепція йде в початок 60-их рр. минулого століття. Основним побоюванням в той час були очікування, що існували тоді превентивні програми обслуговування, реалізовані за розкладом, будуть погано впливати на економічну ефективність більших і складних АТЗ. А ось досвід компаній з ООН показав, що витрати на обслуговування залишалися, в цілому, постійними, в той час, як доступність і надійність АТЗ покращилася. ООН зараз є стандартною практикою в більшості компаній світу [3-5].

Кожна з наступних стратегій обслуговування обладнання має свої відмінні риси і оптимальні сфери застосування.

Превентивне (планове) обслуговування (PM - preventive maintenance). При використанні цієї стратегії діяльність з обслуговування обладнання здійснюється ще до того, як станеться поломка, тому не виникає просте обладнання і кількість вироблених виробів не падає. Практично завжди дешевше виконувати планове обслуговування, ніж чекати поломки.

Аварійне обслуговування (RM - reactive maintenance). В цьому випадку обслуговування обладнання є реакцією на його вихід з ладу. Як не дивно, іноді ця стратегія може виявитися кращою, про що буде сказано далі.

Предиктивне обслуговування (PdM – predictive maintenance). Обслуговування здійснюється на основі специфічної інформації про обладнання, яка є надійним попередником неминучого відмови. Як приклади можна привести вібраційний або термоаналізу.

Обслуговування за станом обладнання (CBM – condiction based manitenance). Іноді цей термін використовують як синонім планового обслуговування. У чому різниця? При плановому обслуговуванні періодичність процедур обслуговування задається заздалегідь, в плановому режимі. У разі обслуговування за станом роботи виконуються в залежності від того, яку інформацію про обладнання дають системи збору даних в режимі реального часу - від сенсорів і інших датчиків, які вимірюють певні параметри. Система збору даних зіставляє їх з даними, характерними для аварійного стану, так щоб можна було виконати обслуговування до виходу обладнання з ладу.

Предиктивне обслуговування засноване на реальному стані і продуктивності компонента. Обслуговування здійснюється не за графіком, а в разі змін в характеристиках АТЗ. Прикладом інтелектуального підходу може служити використання сенсорів витрати пального або вібрації. Крім того, зараз набувають поширення аналітичні програмні продукти, що дозволяють прогнозувати відмови на основі інформації, що надходить від систем автоматизації в режимі реального часу.

Спрощення технічного обслуговування за допомогою даних інтелектуального обслуговування включає збір цільових даних для проведення аналізу, результати якого допоможуть прогнозувати можливі збої до їх виникнення. Компанії використовують цей формат обслуговування, щоб уникнути прогнозованих збоїв обладнання і ремонтувати обладнання з мінімальним часом простою.

**Висновки**. Грунтуючись на проведеному аналізі стратегій і тактик РТО АТЗ можна зробити висновок, що традиційна, сформована протягом багатьох років система РТО вже не відповідає в цілому сучасним вимогам ТЕАТЗ. Її основною перевагою є тільки можливість спрогнозувати витрати запасних частин і матеріалів при відсутності хороших діагностичних систем, а основним недоліком - прийняття рішення про проведення робіт РТО на підставі інформації про пробіг АТЗ. При реалізації такої системи РТО на практиці, вона не враховує реальний стан вузлів і агрегатів АТЗ, призводить до перевитрати запасних частин і, як наслідок, високі витрати на підтримання АТЗ в справному стані.

Поступовий розвиток нових видів перевезень призвело до збільшення часу перебування рухомого складу далеко від основної виробничої бази, і, внаслідок цього, підвищилася роль профілактичного РТО автомобілів. Тому створення гнучкої «адаптивної» системи контролю та управління технічним станом автомобіля з елементами індивідуального підходу до кожного

конкретного автомобіля стало першочерговим завданням. Під адаптивною системою РТО автомобілів розуміється система, яка завдяки зміні своєї структури і значень параметрів, може пристосовуватися до зміни внутрішніх і зовнішніх умов. Рівень, якого досягла сучасна технічна діагностика, дозволяє при технічній експлуатації автомобілів реалізувати практично будь-які завдання з виявлення і прогнозування параметрів технічного стану автомобілів.

**Список використаних джерел**

1. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія: підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.

2. Волков В.П. Організація технічної експлуатації автомобілів в умовах формування інтелектуальних транспортних систем / В. П. Волков, В. П. Матейчик, П. Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування*, 2013. – №64 (970). – С. 36–42.

3. Борисюк Д. В. Формування словника діагностичних ознак при віброакустичному діагностуванні тракторів і автомобілів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту : VI-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 12-13 квітня 2018 р.: тези доповіді.* Вінниця, 2018. С. 28-30.

4. Худяков І.В. Моделі бази даних інформаційної системи моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів // *Луцький національний технічний університет «Наукові нотатки» випуск 67,* – Луцьк ЛНТУ, 2019 – с. 141-148.

5. Матейчик В. П. Особливості моніторингу стану транспортних засобів з використанням бортових діагностичних комплексів / В. П. Матейчик, В. П. Волков, П. Б. та ін.// *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. - 2014. - Вип. 13(1). – С. 125-137.

6. Волков В.П. Особливості інформаційної системи моніторингу і прогнозування параметрів технічного стану двигуна і транспортного засобу в умовах ITS / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.В. Грицук, Ю.В. Волков // *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал.* – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. - №2(6). – с. 43-49.

***Худяков Ігор Валентинович*** **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, (65039, м. Одеса, вул. Канатна 99, e-mail: igor.khudiakov563@gmail.com).

***Грицук Ігор Валерійович*** **–** д. т. н., професор, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування НУ «Чернігівська політехніка», (14030, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, e-mail: gritsuk_iv@ukr.net).

***Погорлецький Дмитро Сергійович*** **–** к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, (65039, м. Одеса, вул. Канатна 99, e-mail: dimon150582@gmail.com).

***Черненко Валентина Володимирівна*** **–** старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, (65039, м. Одеса, вул. Канатна 99, e-mail: v.chernenko18@gmail.com).

***Igor Khudyakov*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy, (65039, Odessa, Kanatna St. 99, e-mail: igor.khudiakov563@gmail.com).

***Igor Hrytsuk*** – Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering of the Chernihiv Polytechnic National University, (14030, Chernihiv, Shevchenko St., 95, e-mail: gritsuk_iv@ukr.net).

***Dmytro Pogorletskyi*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy, (65039, Odessa, Kanatna St. 99, e-mail: dimon150582@gmail.com).

***Valentyna Chernenko*** – Senior Lecturer, Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy, (65039, Odessa, Kanatna St. 99, e-mail: v.chernenko18@gmail.com).

УДК 629.33.014.2

**Цимбал С.В., Варчук В.В., Вдовиченко О.В.**

# ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ЛІКВІДНОСТІ АВТОМОБІЛІВ-САМОСКИДІВ АГРАРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ВТОРИННОМУ РИНКУ ВІННИЧЧИНИ

*У тезах досліджено чинники, що впливають на ліквідність вживаних самоскидів в аграрному секторі Вінницької області. Проведено параметричний аналіз залежності ціни від терміну експлуатації, технічного стану та адаптивності до агрологістики.*
***Ключові слова:*** *автомобіль-самоскид, базові параметри, Вінниччина, вторинний ринок, депреціація, модель прогнозування, термін експозиції.*

*The abstract examines factors affecting the liquidity of used dump trucks in the agricultural sector of the Vinnytsia region. A parametric analysis of the dependence of price on the operating period, technical condition, and adaptability to agrologistics was performed.*
***Keywords:*** *dump truck, basic parameters, Vinnytsia region, secondary market, depreciation, forecasting model, exposure period.*

**Постановка проблеми**

У процесі обґрунтування інвестиційних проектів з оновлення парку автомобілів-самоскидів традиційно приділяється увага вартості закупівлі та операційним витратам. Проте критично важливим, але часто ігнорованим параметром є залишкова вартість (residual value) активу після завершення терміну експлуатації (зазвичай 5 років). В умовах дефіциту ліквідності у 2026 році можливість вигідно реалізувати вживану техніку стає основним джерелом формування першого внеску для наступного інвестиційного циклу. Проблема полягає у відсутності системного аналізу факторів, що визначають ліквідність автомобілів-самоскидів саме у специфічних умовах Вінницького регіону.

**Результати дослідження**

Для формування моделі ліквідності було проведено параметричний аналіз понад 240 пропозицій на вторинному ринку техніки 2020-2025 років випуску. Виявлено, що ціна перепродажу формується під впливом наступних параметрів.

**1. Вплив технологічного циклу експлуатації.** Для Вінниччини, як аграрного регіону, ліквідність автомобілів-самоскидів на вторинному ринку визначається їхньою придатністю до перевезення зернових культур, цукрового буряка та добрив.

**2. Екологічний стандарт як фінансовий важіль.** Станом на 2026 рік спостерігається «цінове піке» для моделей стандарту «Euro-4». Різниця в ціні між моделями стандарту «Euro-5» та «Euro-6» одного року випуску зросла до 25%. Це пояснюється не лише екологією, а й вищою паливною ефективністю нових моделей, що є критичним при високій вартості пального.

**Математична модель прогнозування**

Для практичного використання пропонується наступна формула залишкової вартості:

$$L_{сам.} = P_{нов.} \cdot (1-d)^n \cdot K_{рег} \cdot K_{в.т.с.}, \quad (1)$$

де $L_{сам.}$ - ліквідність, грн.;

$P_{нов.}$ - ціна нового автомобіля-самоскида, грн.

$d$ - коефіцієнт щорічного падіння вартості;

$n$ - фактичний вік автомобіля-самоскида у роках з моменту випуску;

$K_{рег}$ - регіональний коефіцієнт;

$K_{в.т.с.}$ - коефіцієнт військово-технічного стану.

Ці показники є базовими параметрами розрахункової моделі. Ось їхнє розшифрування та логічне пояснення в контексті ринку Вінниччини.

Ліквідність - це підсумковий показник, який ми шукаємо. Він відображає здатність автомобіля-самоскида бути швидко проданим за ціною, близькою до ринкової.

$P_{new}$ - це поточна ринкова вартість аналогічного нового автомобіля-самоскида (наприклад, актуальна ціна на новий MAN чи Scania - зерновоз). Це «точка відліку», від якої ми починаємо дисконтування.

Знос або депреціація $d$ враховує, на скільки відсотків техніка дешевшає кожного року через фізичне та моральне старіння. Для самоскидів-зерновозів цей показник зазвичай нижчий, ніж для будівельних АТЗ, оскільки вони краще зберігають вартість.

Вік - ключовий показник, який експоненціально впливає на зниження вартості: чим більше $n$, тим нижча залишкова ціна.

Для Вінниччини приймаємо значення $K_{рег}$ = 1,05 через постійний попит агросектору на самоскиди-зерновози.

$K_{в.т.с.}$ враховує інтенсивність використання техніки у логістичних ланцюгах критичної інфраструктури. При виконанні розрахунків зробимо припущення, що він може приймати значення від 0,7 до 0,9.

Розрахунки за наведеною формулою (при $n$ =5 років і $K_{рег}$ = 1,05) виконувались для конкретних моделей самоскидів, які популярні на Вінниччині, в умовно різних цінових сегментах («Преміум», «Середній» і «Бюджет»). Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця параметричної оцінки ліквідності самоскидів-зерновозів для умов Вінницької області

| Ціновий сегмент | Типова модель | $P_{нов.}$ (орієнтовна), грн. | Коефіцієнт зносу $d$ | Стан $K_{в.т.с.}$ | Ліквідність $L_{сам.}$, грн. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Преміум | Scania P410 зерновоз | 5200000 | 0,88 (повільний) | 0,90 | ≈2746000 |
| 2. Середній | MAN TGS | 4500000 | 0,86 (середній) | 0,85 | ≈1893000 |
| 3. Бюджет | MAZ-6501 зерновоз | 3500000 | 0,82 (швидкий) | 0,75 | ≈1084000 |

Аналітичні коментарі до розрахунку:

- стійкість «Преміум» сегменту: Scania має найвищий показник $d$ (0,88). Це означає, що за 5 років автомобіль-самоскид втрачає менше вартості, ніж конкуренти. На вторинному ринку Вінниччини такі автомобілі розкуповуються швидше, бо агрохолдинги цінують паливну економічність;

- «Вінницький парадокс» ($K_{рег}$ = 1,05): у бюджетному сегменті (МАЗ) цей коефіцієнт відіграє критичну роль. Без нього ціна була б ще нижчою, але через постійну потребу дрібних фермерів Вінниччини у дешевих зерновозах, попит «тримає» ціну на плаву навіть для техніки, яка вже вичерпує свій ресурс.

- вплив військово-технічного стану: зверніть увагу, що для бюджетного сегменту ми поставили нижчий коефіцієнт (0,75). Це логічно: техніка простіша, часто експлуатується «на знос» у логістичних ланцюгах, тому її стан через 5 років зазвичай гірший, ніж у доглянутого «європейця».

Аналітичний висновок: моделювання показує, що найбільш вигідною інвестицією для перепродажу через 5 років є середній сегмент (MAN). Він демонструє «золоту» середину між ціною закупівлі та залишковою вартістю на нашому регіональному ринку.

Для більш коректного моделювання з урахуванням регіональних умов додамо в таблицю ще один параметр «Термін експозиції» (як швидко автомобіль-самоскид куплять на електронній платформі, наприклад «AUTO.RIA» саме у Вінниці?).

Додавання терміну експозиції (часу продажу) робить модель максимально наближеною до реального бізнесу. На вторинному ринку Вінниччини цей показник часто є критичнішим за ціну: техніка має працювати, а не стояти на майданчику.

Нижче наведена оновлена аналітична таблиця 2 з урахуванням швидкості продажу на регіональних платформах (на основі усереднених даних «AUTO.RIA» та спеціалізованих платформ типу «Agro-Ukraine»).

Таблиця 2 – Параметрична оцінка ліквідності та терміну реалізації (Вінницька обл.)

| Ціновий сегмент | Типова модель | Ліквідність $L_{сам.}$, грн. | Термін експозиції, дні | Причина швидкості продажу |
|---|---|---|---|---|
| 1. Преміум | Scania P410 зерновоз | ≈2746000 | 15–25 | Висока довіра великих агрохолдингів («МХП» та інші), розвинений сервіс у регіоні |
| 2. Середній | MAN TGS | ≈1893000 | 20–35 | «Золотий стандарт» для середніх фермерів. Найкраще співвідношення «ціна-якість» |
| 3. Бюджет | MAZ-6501 зерновоз | ≈1084000 | 10–20 | Найшвидший продаж. Низький поріг входу для малих господарств, дефіцит дешевої робочої техніки |

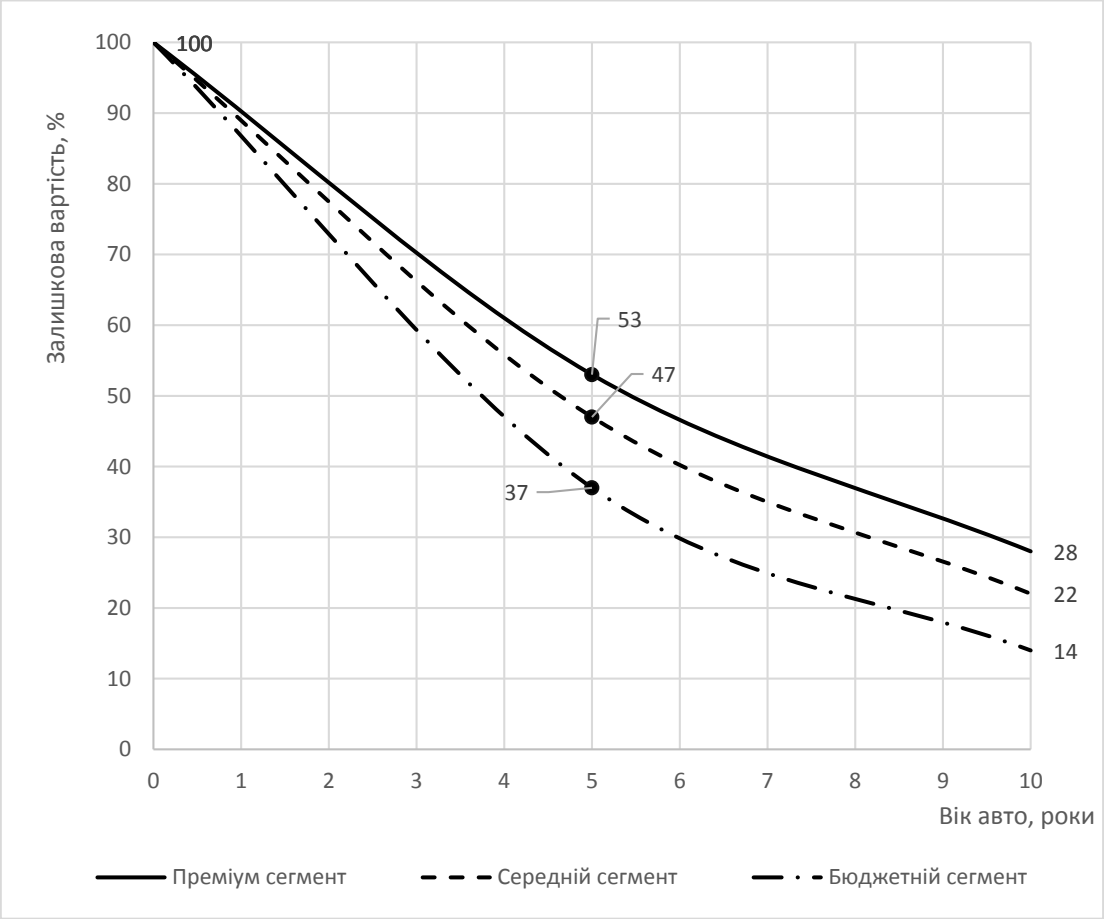



Рисунок 1 – Порівняльна динаміка ліквідності автомобілів-самоскидів різних цінових сегментів на вторинному ринку Вінниччини

Аналітичні висновки щодо терміну експозиції:

- парадокс «бюджетного» сегменту: попри найнижчу технічну надійність, бюджетні самоскиди (МАЗ, КамАЗ) продаються найшвидше. Це пояснюється специфікою Вінниччини: велика кількість фермерських господарств (до 500 га) шукають техніку, яку можна відремонтувати «в полі», і на яку не потрібно брати величезні кредити.

- стабільність сементу «Преміум»: Scania та Volvo мають короткий термін експозиції через те, що на них завжди є черга з системних компаній. Якщо ціна адекватна, автомобіль не стоїть більше 3 тижнів.

- конкуренція в «середньому» сегменті: MAN та DAF продаються трохи довше, бо покупець у цьому сегменті найбільш прискіпливий - він порівнює стан двигуна, паливну систему та історію обслуговування

Варто зазначити, що у період активного збору урожаю (липень-вересень) термін експозиції у Вінницькій області скорочується ще на 30-40%, а ціна може зростати на 5-7% через сезонний ажіотаж.

Щоб ілюстративно показати, як падає ціна різних цінових сегментів залежно від віку, на рисунку 1 наведені криві депреціації (падіння вартості) автомобілів-самоскидів розглянутих моделей.

Як свідчить наведена ілюстрація, точка перетину кривих з лінією критичної ліквідності (20% від) настає для бюджетного сегменту на 7-й рік, тоді як «Преміум» сегмент зберігає цей рівень понад 12 років

**Висновки**

Проведений параметричний аналіз підтверджує, що вторинний ринок автомобілів-самоскидів Вінниччини має виражену регіональну специфіку, зумовлену домінуванням агросектору. Застосування розробленої моделі показало, що попри загальне щорічне знецінення техніки, регіональний коефіцієнт частково нівелює депреціацію за рахунок стабільно високого попиту на зерновози.

Результати моделювання демонструють цікаву закономірність: найвищу фінансову стійкість виявляє «Преміум»-сегмент (Scania), зберігаючи до 53% первісної вартості через 5 років. Водночас, бюджетний сегмент (МАЗ) демонструє найвищу швидкість обіговості (термін експозиції до 20 днів), що робить його найбільш ліквідним з точки зору швидкості повернення капіталу.

Отже, при оцінці ліквідності автомобілів-самоскидів у Вінницькій області ключовим є баланс між технічним станом та сезонним чинником, який у період збиральної кампанії здатен підвищувати ринкову вартість вживаної техніки на 5-7% понад розрахунковий рівень.

**Список використаних джерел**

1. Біліченко В.В. Економіка підприємства. Визначення економічної ефективності інвестиційних проектів з оновлення рухомого складу на автомобільному транспорті: навчальний посібник / В. В. Біліченко, В. В. Варчук, С. В. Цимбал. – Вінниця : ВНТУ, 2011 – 128 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.lib.vntu.edu.ua/Doc_id=238596. вільний. (дата звертання 11.02.2026).

2. Про затвердження Методики визначення розмірів відшкодування збитків, завданих колісним транспортним засобам : Наказ Міністерства юстиції України, Фонду державного майна України від 15.09.2022 р. № 3881/5/1151. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/go/z1337-22 (дата звернення: 14.02.2026).

3. Продаж самоскидів у Вінницькій області [Електронний ресурс] // AUTO.RIA. – Режим доступу: auto.ria.com (дата звернення: 14.02.2026).

4. Продаж вживаних самоскидів [Електронний ресурс] // RST.ua. – Режим доступу: rst.ua (дата звернення: 14.02.2026).

5. Купити самоскид у Вінниці [Електронний ресурс] // Autoline Україна. – Режим доступу: autoline.ua (дата звернення: 14.02.2026).

***Цимбал Сергій Володимирович –*** к.т.н., доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

***Варчук Вячеслав Володимирович –*** асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

***Вдовиченко Олександр Володимирович*** – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vdov1964@vntu.edu.ua.

***Tsymbal Serhii*** – PhD (Engineering), Associate Professor at the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

***Varchuk Viacheslav*** – Assistant Lecturer at the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

***Vdovichenko Oleksandr*** – Assistant Lecturer at the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vdov1964@ vntu.edu.ua.

УДК 656.078

**Цимбал С.В., Глиняний В.С.**

# ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМОБІЛЬНИМИ ПАСАЖИРСЬКИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

*У статті розглядаються ключові проблеми управління автомобільними пасажирськими перевезеннями в сучасних українських містах. Проаналізовано основні чинники, що впливають на ефективність транспортного обслуговування, зокрема перевантаженість вулично-дорожньої мережі, зростання рівня автомобілізації, затори, аварійність та погіршення екологічної ситуації. Окрему увагу приділено особливостям організації громадського транспорту, взаємодії муніципальних органів влади та приватних перевізників, а також впливу сучасних технологій на управління транспортними потоками. Розглянуто роль автоматизованих систем управління дорожнім рухом, GPS-навігації та інтегрованих бортових електронних систем у підвищенні ефективності та безпеки перевезень. Представлено рекомендації щодо оптимізації маршрутної мережі, графіків руху та тарифної політики для зменшення використання приватного автотранспорту і покращення стану міських магістралей. Стаття може бути корисною для фахівців у сфері міського транспорту, урбаністів, дослідників транспортних систем та органів місцевого самоврядування, які планують розвиток пасажирських перевезень у містах.*

***Ключові слова:*** *автомобільні пасажирські перевезення, управління транспортними потоками, міський транспорт, громадський транспорт, автоматизовані системи управління рухом, ефективність перевезень.*

*The article examines the key problems of managing passenger road transport in modern Ukrainian cities. The main factors affecting the efficiency of transport services are analyzed, in particular, congestion of the street and road network, the growth of the level of motorization, traffic jams, accidents and deterioration of the environmental situation. Special attention is paid to the peculiarities of the organization of public transport, the interaction of municipal authorities and private carriers, as well as the impact of modern technologies on the management of transport flows. The role of automated traffic management systems, GPS navigation and integrated on-board electronic systems in increasing the efficiency and safety of transport is considered. Recommendations are presented for optimizing the route network, traffic schedules and tariff policy to reduce the use of private vehicles and improve the condition of urban highways. The article may be useful for specialists in the field of urban transport, urban planners, researchers of transport systems and local governments planning the development of passenger transport in cities.*

***Keywords:*** *road passenger transportation, traffic flow management, urban transport, public transport, automated traffic management systems, transportation efficiency.*

Сучасний стан пасажирських перевезень у містах та муніципальних утвореннях України характеризується наявністю низки негативних факторів, що створюють труднощі для всіх учасників руху – як пасажирів, так і перевізників. Основними проблемами є перевантаженість міських вулиць, постійні затори, що обумовлені збільшенням кількості особистих транспортних засобів, зростання числа ДТП, погіршення екологічного стану міського середовища, а також підвищення шумового та транспортного навантаження на житлові райони. Ці фактори зумовлюють необхідність комплексної реорганізації управління транспортними потоками, зокрема пасажирськими перевезеннями громадським транспортом, що перебуває у віданні регіональних та муніципальних органів влади, а також приватних підприємств.

Протягом тривалого часу в Україні пріоритет у розвитку транспортного обслуговування віддавався громадському пасажирському транспорту, при цьому за розрахунковий показник

приймався рівень автомобілізації міст – 245 автомобілів на 1000 жителів. Саме на основі цього показника була спроектована більшість елементів транспортної інфраструктури та системи управління дорожнім рухом. Однак механічне розширення або модернізація вулично-дорожньої мережі не здатна радикально вирішити проблему міського руху. Для того, щоб задовольнити попит на пересування містом на власному автомобілі за існуючого рівня автомобілізації, пропускна спроможність вулично-дорожньої мережі мала б бути збільшена як мінімум у п'ять разів, що є практично нездійсненним у щільно забудованих районах.

Різке зростання рівня автомобілізації, яке спостерігається в останнє десятиліття у всіх великих містах України, призводить до загострення комплексу транспортних проблем: зниження швидкості руху транспорту, частих заторів, підвищення аварійності, погіршення екологічної ситуації та зниження якості міського середовища. Водночас пересування містом громадським транспортом за умови суворого дотримання графіків руху, оптимального побудування маршрутної мережі та раціональної тарифної політики могло б значно скоротити використання приватного автотранспорту у щільно забудованих районах, що, у свою чергу, позитивно впливало б на організацію дорожнього руху та зменшення екологічного навантаження.

Досвід окремих міст свідчить, що значно покращити ситуацію можливо шляхом комплексного впровадження заходів із вдосконалення управління транспортними потоками, зокрема через інтеграцію автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУДР) на ключових магістралях та вузлах міста. Розвиток таких систем у поєднанні з розробкою комплексної схеми організації руху транспорту у межах міста є першочерговим завданням для оптимізації перевезень та підвищення ефективності роботи громадського транспорту.

Для реалізації цих завдань вводяться в експлуатацію сучасні системи GPS-навігації та мережеві радіонавігаційні системи, сигнали яких надходять до централізованої системи управління. Використання комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень дозволяє оцінювати стан та якість обслуговування пасажирів у реальному часі та своєчасно коригувати роботу маршрутів при виявленні невідповідностей з нормативними показниками.

Мережева радіонавігаційна супутникова система призначена для глобальної оперативної навігації наземних рухомих об'єктів і розроблена на замовлення Міністерства оборони України. Система складається з трьох функціональних сегментів: космічного (орбітальне угруповання супутників), сегменту управління (наземний комплекс контролю та координації руху супутників) та апаратури користувачів.

Усі транспортні засоби, інтегровані у ці системи, оснащуються комплексними бортовими електронними блоками, до складу яких входять:

- радіостанція або радіотелефон;
- контролер (мікро-ЕОМ);
- радіомодем;
- приймач GPS-навігації;
- додаткові спеціалізовані пристрої для водія, такі як «тривожна кнопка SOS», дисплей-індикатор, засоби підрахунку кількості пасажирів та інші інструменти для контролю за рухом та безпекою перевезень.

Сучасний стан пасажирських перевезень у містах та муніципальних утвореннях України характеризується низкою негативних чинників, таких як перевантаженість міських вулиць, часті затори, підвищена аварійність, погіршення екологічної ситуації та зростання рівня шумового забруднення.

Рівень автомобілізації міст (245 автомобілів на 1000 жителів) визначив основу проектування транспортної інфраструктури та системи управління дорожнім рухом, проте подальше зростання кількості приватних транспортних засобів призводить до загострення проблем і зниження ефективності існуючих рішень.

Механічне розширення вулично-дорожньої мережі не здатне радикально вирішити проблему міського руху, оскільки для задоволення попиту на пересування приватним автотранспортом необхідне збільшення пропускної спроможності мережі в кілька разів, що є технічно та економічно невиправданим.

Оптимізація перевезень можливе лише за комплексного підходу, що включає розвиток громадського транспорту, суворе дотримання графіків руху, оптимальну маршрутизацію та доступну тарифну політику, що сприяє зменшенню використання приватних автомобілів у щільно забудованих районах.

Впровадження автоматизованих систем управління дорожнім рухом, GPS-навігації та інтегрованих бортових електронних систем у транспортних засобах дозволяє оперативно контролювати стан пасажирських перевезень, приймати локальні рішення в реальному часі та підвищувати безпеку та ефективність обслуговування пасажирів.

Комплексний розвиток систем управління транспортними потоками у поєднанні з розробкою інтегрованої схеми організації руху транспорту є пріоритетним напрямом для підвищення ефективності та якості пасажирських перевезень у містах України

**Список використаних джерел**

1. Транспортні системи: сучасний стан та перспективи розвитку / В. Сидоренко. – Харків: Наука, 2020. – 256 с.
2. Організація та планування міських пасажирських перевезень / О. Ковальчук. – Львів: ЛТІ, 2019. – 184 с.
3. Антонов А., Рухомий склад та експлуатація транспортних засобів: навч. посібник. – Київ: Логістика, 2021. – 248 с.
4. European Commission – Mobility and Transport. Режим доступу: https://transport.ec.europa.eu
5. Офіційний сайт GPS/ГЛОНАСС системи та супутникових технологій управління рухом. Режим доступу: https://www.gps.gov
6. Mezha.media. Number of cars per 1000 citizens – Ukraine ranks last in Europe. Режим доступу: https://mezha.media/en/2024/03/05/number-of-cars-per-1000-citizens-ukraine-ranks-last-in-europe

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

***Глиняний Віктор Сергійович*** – аспірант, аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-meil: victorglin9@gmail.com

***Tsymbal Serhii*** – PhD in Engeneering, associate professor, head of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

***Glynianyi Viktor*** – graduate student, graduate student of the Department of Automobile and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: victorglin9@gmail.com

УДК 656.1:656.13

**Цимбал С.В., Сокур О.А.**

# АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВИБОРУ ВИДУ ТРАНСПОРТУ В СИСТЕМІ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

***Анотація.*** *У роботі досліджено попит на послуги міського пасажирського транспорту з урахуванням поведінкових аспектів вибору пасажирів. Виокремлено ключові фактори, що впливають на прийняття рішення: вартість поїздки, час очікування та поїздки, частота руху. Запропоновано підхід до моделювання вибору виду транспорту на основі дискретних моделей та оцінки вартості часу пасажира як випадкової величини. Результати можуть бути використані для оптимізації маршрутної мережі та підвищення якості транспортного обслуговування.*

***Abstract.*** *The paper examines demand for urban passenger transport services considering passengers' behavioral decision-making. Key factors influencing mode choice are identified, including travel cost, waiting time, travel time, and service frequency. An approach based on discrete choice models and the valuation of travel time as a random variable is proposed. The results can be applied to optimize route networks and improve the quality of urban transport services.*

**Вступ.** У сучасних умовах розвитку міст зростає значення ефективного функціонування системи міського пасажирського транспорту як ключового елемента забезпечення мобільності населення. Підвищення рівня урбанізації, збільшення інтенсивності транспортних потоків та зростання вимог до якості обслуговування зумовлюють необхідність удосконалення підходів до оцінювання попиту на транспортні послуги. Особливої актуальності набуває врахування поведінкових аспектів вибору пасажира, оскільки саме вони визначають структуру пасажиропотоків та ефективність функціонування маршрутної мережі. Традиційні методи аналізу не завжди дозволяють адекватно врахувати вплив часових і вартісних факторів, що обумовлює доцільність застосування економіко-математичних моделей для більш точного опису транспортної поведінки населення.

**Основна частина.** Для визначення попиту на послуги міського пасажирського транспорту необхідно встановити мотиви, якими керуються пасажири під час вибору маршруту руху та виду транспорту. Дослідження пасажирських переміщень у містах свідчать, що насамперед пасажири прагнуть обрати безпересадковий маршрут незалежно від виду транспорту. Якщо між заданими районами відправлення та прибуття існують прямі маршрути комерційного і муніципального транспорту, у пасажира виникає альтернатива вибору: скористатися комерційним транспортом або надати перевагу муніципальному.

Вибір засобу пересування здійснюється на основі сукупності факторів, які формують індивідуальне рішення пасажира. До них належать: вартість поїздки, час очікування транспорту, тривалість поїздки, інтервал руху (частота), місткість рухомого складу, рівень комфорту, вік пасажира та стан його здоров'я, час доби, погодні умови, щільність маршрутної мережі тощо. Водночас значна частина цих факторів важко піддається кількісній оцінці, оскільки має якісний або суб'єктивний характер.

З огляду на це доцільно виокремити ключові фактори, що мають найбільший вплив на вибір пасажира та можуть бути формалізовані:

– вартість поїздки;
– час очікування транспорту;
– тривалість поїздки;
– частота руху транспортних засобів.

Саме ці параметри визначають величину попиту на транспортні послуги на кожному окремому маршруті та формують загальну ефективність функціонування маршрутної мережі.

У разі, якщо попит на конкретному маршруті не задовольняється (через переповненість або недостатню частоту руху), пасажир змушений обирати альтернативний вид транспорту або інший маршрут. Якщо ж сукупний попит між певними транспортними районами перевищує пропозицію всієї маршрутної мережі, це призводить до зниження якості транспортного обслуговування та зростання соціального невдоволення. Особливо гостро ця проблема проявляється у години «пік», коли цінність часу суттєво зростає: працівники можуть запізнюватися на роботу, а студенти – на навчання.

Для більш точного врахування часових витрат доцільно ввести показник «вартості часу пасажира» (цінності хвилини часу). Оскільки цей показник є індивідуальним і залежить від соціально-економічних характеристик особи, його доцільно розглядати як випадкову величину. Визначення такого параметра може здійснюватися із застосуванням статистико-ймовірнісних методів, що дає змогу формувати більш адекватні моделі транспортної поведінки населення.

За наявності потреби у переміщенні міське населення може обирати між кількома способами пересування: комерційний транспорт, муніципальний транспорт, приватний легковий автомобіль, таксі або пішохідне пересування. Водночас у практичних дослідженнях доцільно зосередитися на трьох основних альтернативах: комерційний транспорт, муніципальний транспорт та легковий автомобіль, оскільки саме вони формують основну частку пасажиропотоку (рис. 1).

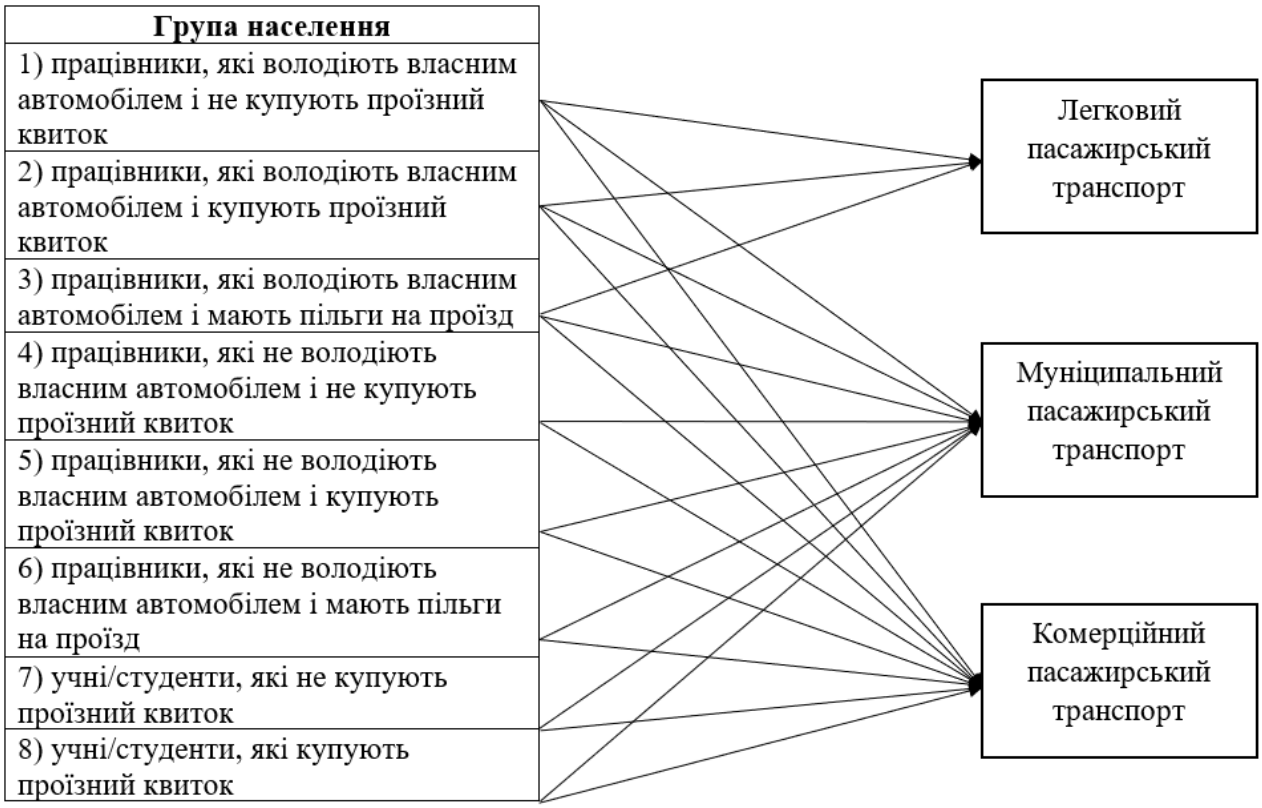



Рисунок 1 – Вибір виду транспорту різними групами населення

Для моделювання вибору пасажиром виду транспорту пропонується використовувати економіко-математичну модель, що базується на ймовірнісному характері оцінки вартості часу. Важливо враховувати, що можливість користування приватним автомобілем обмежується його наявністю у домогосподарстві, а також існують відмінності у поведінці пасажирів залежно від наявності проїзних квитків або пільг.

У зв'язку з цим доцільно класифікувати населення міста за такими групами:

1. працівники, які володіють власним автомобілем і не купують проїзний квиток;
2. працівники, які володіють власним автомобілем і купують проїзний квиток;
3. працівники, які володіють власним автомобілем і мають пільги на проїзд;
4. працівники, які не володіють власним автомобілем і не купують проїзний квиток;
5. працівники, які не володіють власним автомобілем і купують проїзний квиток;
6. працівники, які не володіють власним автомобілем і мають пільги на проїзд;
7. учні/студенти, які не купують проїзний квиток;
8. учні/студенти, які купують проїзний квиток.

Кожна з цих груп має різні можливості вибору та різну чутливість до факторів вартості й часу, що необхідно враховувати при моделюванні попиту та оптимізації транспортної системи.

Додатково слід зазначити, що сучасні підходи до аналізу попиту передбачають використання дискретних моделей вибору (logit- та probit-моделей), які дають змогу оцінити ймовірність вибору певного виду транспорту залежно від узагальненої функції корисності. Це відкриває можливості для інтеграції результатів досліджень у системи управління міським транспортом та цифрові платформи планування перевезень.

**Список літературних джерел**

1. Аулін В. В., Голуб Д. В. Теоретичне обґрунтування прогнозування розподілу попиту пасажирів на послуги різних типів міського транспорту // *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* – 2014. – № 2(69). – С. 16–20.

2. Капіца М. І., Кислий Д. М., Десяк А. Є. *Загальний курс транспорту : підручник.* – Дніпро: Український державний університет науки і технологій, 2023. – 288 с.

3. Нестеренко Г. І., Литвиненко С. Л., Яновський П. О. та ін. *Загальні основи транспортної географії : підручник.* – Київ: Кондор, 2019. – 184 с.

4. Дубова С. В., Зварич І. А. Нариси з історії розвитку пасажирського транспорту // *Сучасні проблеми архітектури та містобудування.* – 2010. – Вип. 24. – С. 221–226.

5. Костюченко Л.М. Міжнародні автомобільні перевезення: посібник /Л.М. Костюченко, Л.П. Докіль, Ю.Ф. Кучинський [та ін.]; Асоц. міжнар. автомоб. перевізників України. – К.: Бланк-Прес, 2010. – 208 с.

6. Boyce D. Network Equilibrium Models for Urban Transport // *Handbook of Regional Science.* – 2014. – P. 759–786.

***Цимбал Сергій Володимирович*** **–** к.т.н., доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету Вінниця, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net;

***Сокур Олег Анатолійович*** **–** аспірант кафедри АТМ, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olegaspr@gmail.com.

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

***Sokur Oleh A.*** – postgraduate student of the ATM department, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olegaspr@gmail.com.

УДК 656.073

**Черепаха О.С., Бойко А.Г., Колісник О.В.**

# ВИЗНАЧЕННЯ ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТАВКИ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИМ ЦЕНТРОМ У КОНТЕЙНЕРАХ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

*Розроблена структурна схема взаємодії між учасниками технологічного процесу доставки запасних частин у контейнерах транспортно-логістичним центром компанії «ОЛЛ ТРАК ПАРТС». Запропоновані альтернативні варіанти технологій доставки запасних частин у контейнерах транспортно-логістичним центром.*
***Ключові слова:*** *запасні частини, логістика постачання, склад, міжнародні перевезення*.

*A structural diagram of interaction between participants in the technological process of delivering spare parts in containers to the transport and logistics center of the company "ALL TRUCK PARTS" has been developed. Alternative options for technologies for delivering spare parts in containers to the transport and logistics center have been proposed.*
***Key words:*** *spare parts, supply logistics, warehouse, international transportation.*

Застосування принципів управління ланцюгами постачання набуло значного поширення у різних галузях промисловості як дієвий інструмент підвищення операційної результативності та загальної ефективності діяльності підприємств. У будівельній сфері управління ланцюгами постачання відіграє важливу роль у процесах стратегічного планування, сприяє розвитку партнерських відносин із постачальниками та підвищує ефективність реалізації будівельних проєктів. Водночас, попри важливість цієї концепції, наукових досліджень, присвячених формуванню стійких ланцюгів постачання будівельних матеріалів в умовах невизначеності, залишається недостатньо [1]. Для виробничих підприємств, діяльність яких пов’язана з використанням широкого спектра сировини, що надходить із різних країн і регіонів світу, особливого значення набуває створення ефективної системи управління процесами постачання [2].

У період повоєнного відновлення України очікується суттєве зростання потреби у транспортних засобах, що, відповідно, спричинить підвищений попит на запасні частини для їх технічного обслуговування та ремонту. Ефективна організація доставки таких компонентів потребує створення надійних механізмів взаємодії в системі управління транспортно-логістичними компаніями. Зниження витрат на транспортування запасних частин може бути досягнуте завдяки розробці та впровадженню ефективних технологій, які забезпечують узгоджену роботу всіх учасників логістичного ланцюга [3]. Реалізація такого підходу сприятиме формуванню стабільної системи перевезення вантажів за визначеними маршрутами та підвищенню рівня обслуговування клієнтів. Процес доставки продукції на міжнародному ринку передбачає виконання значної кількості операцій, робіт і послуг, спрямованих на раціональний розподіл матеріальних, фінансових і інформаційних потоків. У зв’язку з цим підприємства, що займаються виробництвом та експортом продукції, приділяють особливу увагу формуванню оптимальної системи організації міжнародних перевезень, яка забезпечуватиме своєчасну, надійну та економічно доцільну доставку вантажів [4].

Особливості організації міжнародних контейнерних перевезень зумовлюють необхідність пошуку ефективних підходів до раціонального використання наявних ресурсів, зокрема транспортних засобів, контейнерного парку, а також складів консолідації та розподілу вантажів [5]. Водночас важливим завданням є скорочення тривалості виконання логістичних операцій, мінімізація ризиків [5] та забезпечення високого рівня задоволення потреб замовників [6]. У зв’язку з цим підприємства, що здійснюють доставку вантажів, повинні володіти широким спектром технологічних варіантів організації постачання. Це дає можливість враховувати

зазначені фактори під час розроблення нових методичних підходів до вибору ефективної технології доставки запасних частин транспортно-логістичними центрами в контейнерах у міжнародному сполученні.

При транспортному обслуговуванні отриманих замовлень на адресу транспортно-логістичних центрів при організації доставці вантажів автомобільним та залізничним транспортом у міжнародному сполученні виникають багато складностей. Тому у літературних джерелах авторами виявлені наступні проблеми та шляхи їх рішення: визначення оптимального використання всіх видів ресурсів в умовах невизначеності на ринку транспортних послуг [7]; обмежене використання оцінок ризиків в функціонуванні транспортно-логістичних центрів впливає на зниження якості обслуговування замовлень [5, 8]; наявність обмежуючих умов при прийнятті оперативних рішень при управління транспортно-логістичними процесами [9].

Для розвитку транспортного потенціалу нашої країни необхідно використовувати сукупність існуючих та перспективних транспортно-логістичних можливостей. Створення ефективних систем постачання матеріальних потоків дозволяють якісно покращити економічне становище всієї території та підвищення конкурентоспроможність основних виробників продукції.

Запропонуємо в дослідженні розглядати доставку запасних частин у контейнерах транспортно-логістичним центром (ТЛЦ) компанії «ОЛЛ ТРАК ПАРТС». Центр має договори з транспортними, транспортно-експедиторськими та експедиторськими компаніями, які здійснюють перевезення вантажів даної групи автомобільним транспортом по території України та країн ЄС. Складані договори з європейськими транспортно-логістичними компаніями, які працюють з залізницями на території всієї Європи. В Україні є прямий договір з відповідними логістичними підрозділами «Укрзалізниці» та логістичною компанією «Лемтранс». Ці договірні дії формують стійку схему взаємодії між всіма учасниками транспортного процесу (рис. 1).

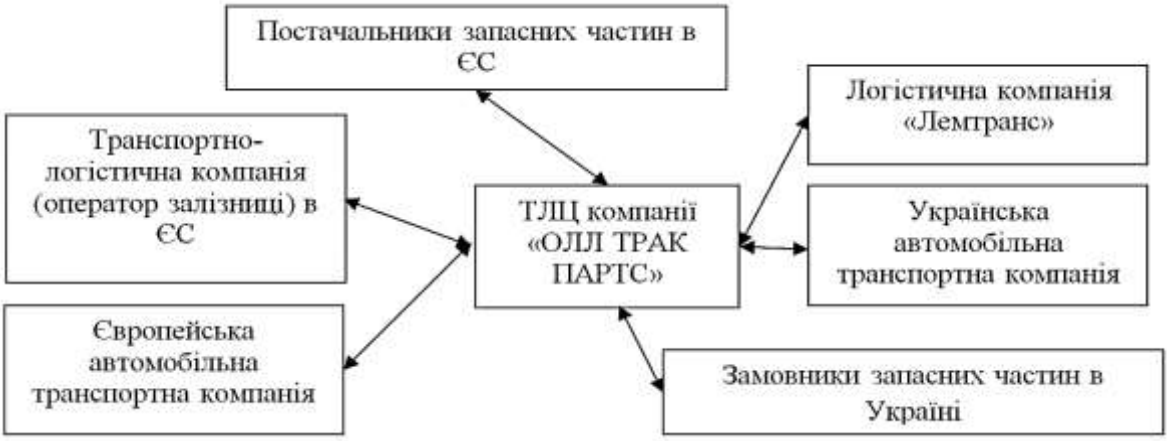



Рисунок 1 – Схематичне представлення взаємодії між учасниками технологічного процесу доставки запасних частин у контейнерах ТЛЦ компанії «ОЛЛ ТРАК ПАРТС»

Приймаємо однозначну реалізацію доставки контейнерів з запасними частинами від складів постачальників до залізничної станції (контейнерного терміналу) на території ЄС, а далі залізничним транспортом до станції Мостиська (Україна). Організацією даної роботи займається транспортно-логістична компанія на території ЄС. Далі від контейнерного терміналу «Мостиська» формується дві альтернативні схеми доставки. «Схема №1» – від терміналу до замовника контейнер з запасними частинами доставляється залізницею до станції регіону призначення (Харків) і потім перевантажується в автомобіль і перевозиться до ТЛЦ компанії «ОЛЛ ТРАК ПАРТС», де і відбувається розвантаження (рис. 2.а). «Схема №2» – від терміналу до замовника контейнер з запасними частинами доставляється автомобілем до регіону одер-

жувача на склад, де вантаж розвантажується з контейнеру і потім завантажується та перевозиться до одержувача автомобілем. У одержувача запасні частини розвантажується на складі, а потім постачаються замовнику у відповідній кількості (рис. 2.б).

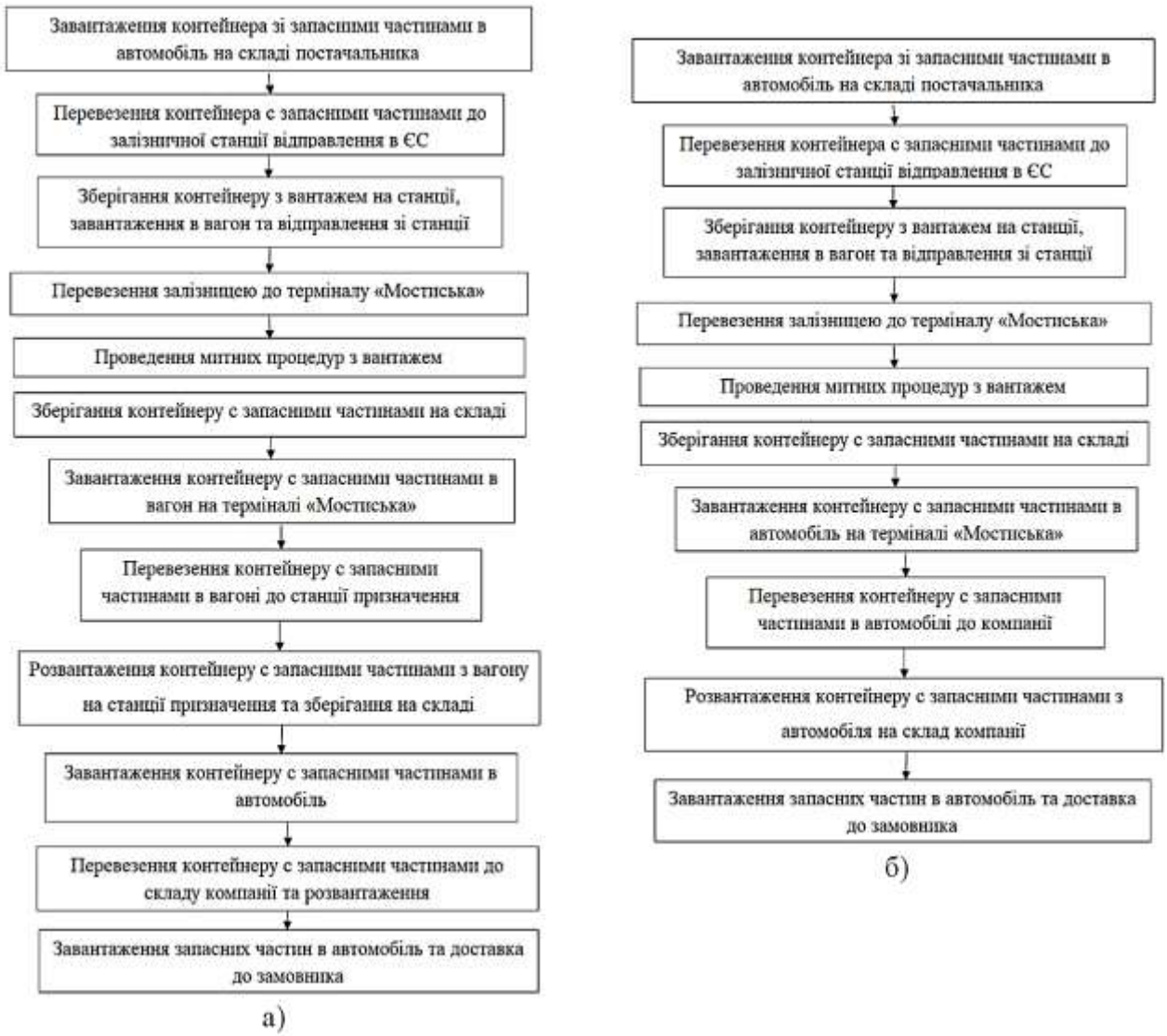



Рисунок 2 – Схематичне представлення варіантів технології доставки запасних частин в контейнері «Схема №1» (а) та «Схема №2» (б)

Розроблена схематичне представлення взаємодії між учасниками технологічного процесу доставки запасних частин у контейнерах транспортно-логістичним центром. В якій враховані договірні зобов'язання сторін взаємодії між ТЛЦ компанії «ОЛЛ ТРАК ПАРТС» та транспортними, транспортно-експедиторськими та експедиторськими компаніями, які здійснюють перевезення вантажів даної групи автомобільним транспортом по території України та країн ЄС; європейськими транспортно-логістичними компаніями, які працюють з залізницями на території всієї Європи; відповідними логістичними підрозділами «Укрзалізниці» та логістичною компанією «Лемтранс». Розроблені альтернативні варіанти технологій доставки запасних частин у контейнерах транспортно-логістичним центром. Прийнято однозначну реалізацію доставки контейнерів з запасними частинами від складів постачальників до залізничної станції (контейнерного терміналу) на території ЄС, а далі залізничним транспортом до станції Мостиська (Україна). Організацією даної роботи займається транспортно-логістична компанія на території ЄС. Далі від контейнерного терміналу «Мостиська» формується дві альтернативні схеми доставки: за участю автомобільного та залізничного транспорту відповідно.

**Список використаних джерел**

1. Ghamari H., Jahromi H.A., Mirhosseini S.M Providing a Framework to Optimize the Sustainable Construction Material Supply Chain with the Possibility of Horizontal Transfers. *Sustainable Futures*. 2024. P. 100328.

2. Haidabrus B., Grabis J., Protsenko S. Agile Project Management Based on Data Analysis for Information Management Systems. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Zajac, J., Peraković, D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.* 2021. P.174-182.

3. Boujarif A., Coit D.W., Jouini O., Zeng Z., Heidsieck R. Repairing smarter: Opportunistic maintenance for a closed-loop supply chain with spare parts dependency. *Reliability Engineering & System Safety.* 2025. Vol. 255. P. 110642.

4 Shaabani H. A literature review of the perishable inventory routing problem. *The Asian Journal of Shipping and Logistics.* 2022. Vol 38, №3. P. 143-161.

5. Wang S., Wang H., Xue G., Han Y., Qin Q., Zhang L., Ma X. Correlation analysis of failure risk factors in automated container port logistics systems from a resilience perspective. *Journal of Sea Research.* 2024. Vol. 202, P. 102552.

6. Monios J., Bergqvist R. Terminal-centric logistics for integrated and profitable intermodal transport networks. *Journal of Transport Geography*. 2025. Vol. 129, P. 104386.

7. Taran I., Kairatkyzy G., Pavlenko O., Nefyodov V., Muzylyov D. Determining the optimal service area of a logistics center: a quantitative approach. *Transport Problems.* 2025. Vol. 20 (3), P. 5-18.

8. Nefyodov V., Kalinichenko O., Pavlenko O. The technique to form the resource-saving technology of cargo delivery by the transport and logistics center. *Municipal Economy of Cities*. 2018. Vol. 142. P. 96-102.

9. Muzylyov D. Medvediev I., Pavlenko O. Risk factor assessment in agricultural supply chain by fuzzy logic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2024. Vol. 1376 (1). P. 012038.

***Черепаха Олександр Сергійович*** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 409, e-mail: a.cherepaha@tek-europa.com.ua).

***Бойко Андрій Григорович*** — аспірант кафедри транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 409, e-mail: andreyboyko1976@gmail.com).

***Колісник Олена Володимирівна*** — здобувачка факультету транспортних систем Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, ауд. 409, e-mail: tamaravvik@gmail.com).

***Cherepakha Oleksandr*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Technologies, Kharkiv National Automobile and Road University (61002, Kharkiv, Yaroslava Mudryho str., 25, room 409, e-mail: a.cherepaha@tek-europa.com.ua).

***Boyko Andriy*** – Postgraduate Student of the Department of Transport Technologies, Kharkiv National Automobile and Road University (61002, Kharkiv, Yaroslava Mudryho str., 25, room 409, e-mail: andreyboyko1976@gmail.com).

***Kolisnyk Olena*** – student of the Faculty of Transport Systems of the Kharkiv National Automobile and Road University (61002, Kharkiv, Yaroslava Mudryho str., 25, room 409, e-mail: tamaravvik@gmail.com).

УДК 629.113

**Черненко С.М., Мурашко О.А.**

# ВПЛИВ УСТАНОВЧИХ ПАРАМЕТРІВ КЕРОВАНОГО КОЛЕСА НА ВАГОВИЙ СТАБІЛІЗУЮЧИЙ МОМЕНТ

*У роботі узагальнено результати дослідження стабілізації керованих коліс автомобіля Розглянуто вплив поперечного і поздовжнього нахилів шворня, початкового кута розвалу, тиску в шині та довжини цапфи на величину вагового стабілізуючого моменту. Показано, що поєднання аналітичних розрахунків і моделювання у середовищі PTC Creo Parametric дає змогу кількісно оцінити зміну стабілізуючого ефекту та обґрунтувати параметри керованого моста автомобіля КрАЗ-6322.*

***Ключові слова:*** *вантажний автомобіль, кероване колесо, ваговий стабілізуючий момент, кут розвалу, шворень, тривимірне моделювання, PTC Creo Parametric.*

*The paper summarizes the results of a study on the stabilization of steered vehicle wheels by means of three-dimensional modeling. The infl e of kingpin transverse and longitudinal inclinations, initial camber angle, tire pressure, and stub axle length on the weight stabilizing moment is considered. It is shown that the combination of analytical calculations and simulation in PTC Creo Parametric makes it possible to quantify changes in the stabilizing eff ct and substantiate the design parameters of the KrAZ-6322 steering axle.*

***Key words:*** *steered wheel, weight stabilizing moment, camber angle, kingpin, three-dimensional modeling, PTC Creo Parametric.*

Стабілізація керованих коліс є однією з визначальних умов забезпечення стійкості автомобіля під час прямолінійного руху та після виходу з повороту. За недостатньої стабілізації колеса повільно повертаються до нейтрального положення, що підвищує навантаження на водія, погіршує курсову стійкість і прискорює зношування шин та деталей рульового керування. Для важких вантажних автомобілів ця проблема набуває особливого значення, оскільки великі навантаження на керовану вісь, значна інерційність агрегатів і змінні дорожні умови посилюють вимоги до точності вибору параметрів рульового приводу та поворотного механізму.

Аналіз літературних джерел засвідчує, що на стабілізуючий ефект істотно впливають установчі параметри керованих коліс: кут розвалу, поперечний і поздовжній нахили шворня, плече обкатки, а також пружні властивості шини та елементів підвіски [1, 2]. У працях А. П. Солтуса та С. М. Черненка докладно розглянуто механізм утворення вагового стабілізуючого моменту при комбінованому нахилі шворня [1], а також встановлено функціональний зв’язок між кутом повороту цапфи та фактичним кутом повороту керованого колеса [2].

Водночас для вантажних автомобілів важливо враховувати не лише геометричні співвідношення, а й просторову кінематику поворотного механізму, яку доцільно досліджувати засобами тривимірного моделювання [3]. Саме такий підхід покладено в основу дослідження автомобіля КрАЗ-6322, для якого навіть незначна зміна взаємного положення шворневої осі, цапфи та маточинного вузла може призвести до відчутної зміни стабілізуючого ефекту. Крім того, тривимірна модель дає змогу простежити зміну кінематичних параметрів на всьому діапазоні повороту колеса, а не лише в околі нульового положення, що особливо важливо для маневрових режимів.

Метою роботи є оцінювання впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів керованого колеса на ваговий стабілізуючий момент, а також обґрунтування доцільності використання тривимірної моделі поворотного механізму для уточнення розрахунків. Для досягнення поставленої мети було розв’язано такі завдання: проаналізовано відомі методики визна-

чення поточного кута розвалу та стабілізуючого моменту; сформовано тривимірну модель поворотного механізму; виконано серію розрахунків для різних значень кута нахилу шворня, тиску в шині та довжини цапфи; оцінено характер зміни вихідних параметрів у всьому діапазоні повороту колеса; узагальнено практичні рекомендації щодо раціонального вибору параметрів керованого моста.

У роботі ваговий стабілізуючий момент розглядається як момент, що виникає внаслідок зміщення реакції дороги відносно осі повороту колеса і сприяє його поверненню в початкове положення. Ключовим проміжним параметром при цьому є поточний кут розвалу $\gamma_ш'$, який змінюється під час повороту колеса та залежить від просторового розташування шворневої осі. Величина $\gamma_ш'$ формується дією відразу кількох геометричних чинників, тому її доцільно розглядати як функцію кута повороту колеса $\theta$, поперечного нахилу шворня $\alpha_ш$, поздовжнього нахилу $\beta_ш$, початкового кута розвалу $\gamma_{ш0}$ та конструктивних розмірів поворотного вузла.

З урахуванням цього поточний кут розвалу можна подати у функціональному вигляді [1]

$$\gamma_ш'(\theta) = \gamma_{ш0} + \alpha_ш(1 - cos\,\theta) \pm \beta_ш \cdot sin\,\theta \quad (1)$$

Знак «+» у формулі (1) необхідно брати при повороті лівого колеса ліворуч або правого праворуч від нейтрального положення. В іншому випадку береться знак «−».

Отже, стабілізуючий момент визначається не одним параметром, а сукупною дією геометрії вузла та експлуатаційного стану колеса.

Для уточнення залежностей було побудовано просторову модель поворотного механізму автомобіля КрАЗ-6322 в середовищі PTC Creo Parametric. Така модель дозволила відтворити взаємне положення шворня, цапфи, маточинного вузла і колеса, а також дослідити їх переміщення в процесі повороту. На відміну від спрощених плоских схем, тривимірне моделювання дало змогу врахувати сукупний вплив поперечного та поздовжнього нахилів шворня, початкового кута розвалу та геометричних розмірів деталей. Це важливо, оскільки для вантажного автомобіля навіть незначна зміна геометрії здатна істотно змінити стабілізуючий ефект на керованій осі.

Методика дослідження передбачала послідовне варіювання одного параметра за фіксованих значень інших. Спочатку визначали геометричне положення колеса в нейтральному стані, після чого задавали кут повороту в характерних точках робочого діапазону та оцінювали зміну поточного кута розвалу, висоти підйому колеса, плеча стабілізації й відповідного моменту самоповернення. Такий підхід забезпечив можливість порівнювати результати для різних конфігурацій механізму за однакових граничних умов і виявляти ті параметри, які найбільше впливають на кінцевий стабілізуючий ефект.

Проведені розрахунки показали, що збільшення поперечного нахилу шворня призводить до зростання поточного кута розвалу при повороті колеса, а отже, і до підвищення вагового стабілізуючого моменту.

Поздовжній нахил шворня також суттєво впливає на процес самоповернення керованих коліс. За результатами дослідження встановлено, що зі збільшенням цього параметра стабілізуючий момент зростає більш плавно, ніж при зміні поперечного нахилу, однак саме поздовжній нахил значною мірою визначає характер повернення коліс після завершення маневру.

Виконане моделювання підтвердило, що довжина цапфи також є чутливим конструктивним параметром. Її збільшення змінює положення маточинного вузла відносно шворневої осі та впливає на плече стабілізації. Це відкриває можливість цілеспрямованого коригування конструкції поворотного механізму ще на етапі проєктування. Практична цінність одержаних результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані для вибору раціональних геометричних параметрів керованого моста, а також для навчального й інженерного аналізу в САПР-середовищі.

Таким чином, поєднання аналітичних методів і тривимірного моделювання дозволяє одержати більш повну картину формування вагового стабілізуючого моменту, ніж використання лише розрахункових схем. Такий підхід доцільно застосовувати при модернізації конструкцій рульового керування вантажних автомобілів, оскільки він дає змогу прогнозувати вплив окре-

мих параметрів на керованість і стійкість транспортного засобу без виготовлення великої кількості дослідних зразків. Крім того, результати можуть бути використані під час навчального проєктування, виконання кваліфікаційних робіт та підготовки рекомендацій щодо удосконалення керованих мостів автомобілів підвищеної прохідності.

**Висновки.** У результаті досліджень встановлено, що ваговий стабілізуючий момент керованого колеса визначається сукупною дією геометричних параметрів поворотного механізму та експлуатаційних чинників. Найбільш помітний вплив мають поперечний і поздовжній нахили шворня, початковий кут розвалу та довжина цапфи. Показано, що збільшення поперечного нахилу шворня інтенсивніше змінює поточний кут розвалу, тоді як поздовжній нахил суттєво впливає на характер самоповернення коліс після маневру. Використання тривимірної моделі в PTC Creo Parametric підвищує точність оцінювання поточного кута розвалу і дає змогу дослідити зміну стабілізуючого моменту в реальному діапазоні повороту керованого колеса. Одержані результати можуть бути використані для обґрунтування параметрів керованих мостів вантажних автомобілів, підвищення їх курсової стійкості та вдосконалення методики інженерного проєктування.

**Список використаних джерел**

1. Солтус А. П., Черненко С. М. Визначення впливу поздовжнього нахилу шворня на ваговий стабілізуючий момент. *Машинознавство*. Львів, 2003. № 6 (72). С. 47–50.

2. Borysiuk D., Spirin A., Trukhanska O., Shvets L., Zelinskyy V. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 17, No. 1. P. 41–47.

3. Мурашко О.А., Черненко С.М. Застосування тривимірного моделювання для дослідження параметрів стабілізації керованих коліс. *Інноваційні аспекти розвитку автомобільного транспорту України: зб. тез.доп. міжнар. наук.-практ. конф.* Кам'янське, 2023. С. 42-44.

***Черненко Сергій Михайлович*** – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: sercher174@gmail.com.

***Мурашко Олексій Андрійович*** – асистент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, e-mail: alandr793@gmail.com.

***Chernenko Serhii*** – PhD in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Tractors Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, e-mail: sercher174@gmail.com;

***Murashko Oleksii*** – Assistant Lecturer at the Department of Automobiles and Tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: alandr793@gmail.com.

УДК 656.1

**Чеховський Д.В.**

# ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК РОЗВИТКУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНСЬКИХ МІСТ З УРАХУВАННЯМ ВИКЛИКІВ ОСТАННІХ РОКІВ

*Дане дослідження покликане визначити перспективний напрямок розвитку автомобільного транспорту у вигляді міських автобусів за для побудови більш стійкої системи міських пасажирських перевезень на найнижчій ланці системи.*

***Ключові слова:*** *Система, автобус, пасажиропотік, перевезення, стійкість, запит, водій, відповідність, розвиток, електроенергія.*

*This study is designed to identify a promising direction for the development of road transport in the form of city buses in order to build a more sustainable urban passenger transportation system at the lowest level of the system.*

***Key words:*** *System, bus, passenger flow, transportation, sustainability, request, driver, compliance, development, electricity.*

Система міських пасажирських перевезень досить вразлива та примхлива. Для підтримки безперебійного пасажиропотоку міста необхідно дотримуватися певних очевидних та недуже вимог: якісне слідкування та підтримка технічного стану рухомого складу, вчасне забезпечення паливо – мастильними матеріалами, пошук та навчання водіїв, розуміння потреб міського населення та передбачення його дій у відповідь на явища будь якого характеру, планування збільшення та скорочення пасажиропотоку тощо. Мабуть, від здатності розуміння потреб пасажирів й залежить, головним чином, попит на задоволення потреб населення у перевезеннях громадським транспортом.

Найрозповсюдженішим громадським транспортом українських міст це автобуси. У великих містах міський громадський транспорт також представлено групою міського електричного транспорту, що включає в себе від тролейбусів до електричних потягів. Однак, саме автомобільний, автобуси, вид транспорту найрозповсюджений й він більш проблемний та більше впливає на наше життя.

На даний час, основними перевізниками містян являються автобуси моделі: «Mercedes-Benz Sprinter», «Богдан/Ataman A-092» та «БАЗ А079 «Еталон». Дані моделі накопичили багато проблем, через які вони вже не можуть задовільнити сучасні запити суспільства. Одним із запитів жителів міст є екологічність транспорту. Нажаль, представлені моделі використовують дизельні двигуни. Також в цих моделях є невідповідність запиту щодо фізичної доступності для всіх категорій людей, комфортності, місткості міст, шумності роботи двигуна, безпечності та вартості пересування.

На перший погляд може здатися, що в містах, в яких можливо організувати, потребам людей може чудово відповідати тролейбус з низькою підлогою. Це через те, що тролейбус, вживаючи електроенергію для руху, не має шкідливих викидів у атмосферу, тихіше пересувається, потребує меншої оплати проїзду, має дещо більші розміри й більш доступний для людей з вадами руху. Однак, якщо продовжувати розглядати розвиток цього транспортного засобу, не дивлячись на те, що він не являється автомобільним транспортним засобом, то буде видно, що він своїм розвитком наближається до автобуса. Тролейбуси, що здатні пересуватися без допомоги контактної мережі, це вже повноцінні автобуси на електричному русі.

Вже з огляду на переваги тролейбуса перед автобусом на дизельному двигуні постає розуміння, що для побудови сталої системи міських пасажирських перевезень на найнижчій ланці, необхідно зробити перехід з звичайних автобусів на електричні автобуси. Перед тим як

зробити точний вибір, варто зрозуміти що саме може зробити збій у системі міських пасажирських перевезень на рівні рухомого складу. Основними проблемами обслуговування містян являються:

- Технічна несправність транспортного засобу;
- Недостатня кількість рухомого складу;
- Невідповідність розмірів рухомого складу;
- Поява важко обхідних або необхідних перепон на маршруті;
- Потрапляння транспортного засобу у ДТП;
- Погіршення самопочуття водія під час керування транспортним засобом;
- Нестача водіїв.

До перелічених основних проблем, які впливають на процес та обсяг перевезення пасажирів системою, треба додати екологічність транспорту, що також побічно впливає на сталість функціонування системи: якщо водій через екологію міста буде добре себе почувати, то він буде мати добре самопочуття та зможе більше докладати зусиль для безпечного керування транспортним засобом.

Однак, це всім знайомі старі проблеми, які намагаються побороти за для підвищення якості та стабільності функціонування системи міських пасажирських перевезень на найнижчий ланці. Починаючи з 2019 року для людства всього світу, особливо для жителів України, життя почало надавати нові виклики. З'явилися проблеми, на які треба якнайшвидше реагувати та передбачати їх повернення у майбутньому. Епідемія коронавірусу (COVID -19) знов нагадала людям про необхідність дотримуватися санітарних та гігієнічних норм навіть у громадському транспорті, а повномасштабне вторгнення Російської Федерації на територію України 24 лютого 2022 року, яке обрало форму довготривалої війни на виснаження з терором цивільного населення, звернуло увагу на енергетичну залежність міського пасажирського транспорту. До того ж, зріст вартості палива напряму шкодить функціонуванню системи обслуговування пасажирів.

З роками війни стало зрозуміло, що дефіцит пального це цілковита реальність, як сталося у Великій Британії у 2000 році. Дефіцит електрики в країні це теж, як виявилось, абсолютно реальний сценарій, в якому можуть бути паралізовані всі види міського електричного транспорту.

Додатковими причинами збою роботи громадського транспорту під час війни це наслідки обстрілів: повалені дерева, обірвані контактні мережі, пошкоджене дорожнє полотно, понівечені автомобілі на шляху тощо.

Мільйони українців в перші дні повномасштабного вторгнення Російської Федерації, добираючись від обстрілюваних районів своїх міст до місць евакуації, зрозуміли, наскільки важлива стабільність та адаптивність системи міських пасажирських перевезень.

Виходячи з перелічених вад, з якими щоденно стикається система, необхідно обрати найдоцільніший напрямок розвитку міського пасажирського автомобільного транспорту. Цей транспортний засіб повинен бути: зручним для всіх категорій пасажирів, комфортним, екологічним, безпечним, потребувати меншої оплати проїзду у порівнянні з існуючими транспортними засобами, сприяти зменшенню контакту між людьми, бути маневреним та менш залежним від криз енергопостачання.

Перспективним напрямком розвитку міського пасажирського автомобільного транспорту, що відповідатиме вище вказаним вимогам, є електричний автобус з певними конструкційними особливостями. Головною особливістю даного транспортного засобу повинна бути система рекуперації електричної енергії, що збільшує запас ходу автомобіля та зменшує знос елементів гальмівної системи. Дана система ідеально підходить для експлуатації у міських умовах. Додатковим корисним оснащенням буде GPS – навігатор. Ідея відслідковування пасажирського транспорту ненова та вже використовується в багатьох містах, однак сам пристрій з демонстрацією шляху новим водіям дозволить швидше адаптуватися до маршруту руху та більш впевнено рухатися по новому маршруту, у разі їх переведення.

Заряджання рухомого складу здійснюватиметься від зарядних станцій. Зазвичай, зарядні

станції отримують електроенергію від загальної міської мережі, що створює для неї додаткове навантаження. В разі стихійного лиха, аварії на міських електростанціях або ворожих ударах по них або по транспортному депо, де будуть розміщуватися зарядні станції, маємо ризик паралізації системи міських пасажирських перевезень через неможливість заряджати рухомий склад. Щоб уникнути цього, пропонується розташовувати зарядні станції не тільки в депо, але й на кінцевих ділянках маршруту, за можливістю. Також, для зменшення навантаження на міську електросистему та заощадження ресурсів, пропонується комбінувати звичайні зарядні станції з тими, що отримують електроенергію від альтернативних джерел енергії.

Оснащення автобусів електронними валідаторами давно виконується але не в кожному місті, та слід наголосити на обов'язковому їх встановленню. Поступова відмова оплати проїзду готівкою призведе до зменшення контакту людей один з одним через паперові гроші, що зменшить ризики розповсюдження епідеміологічних заражень та не відволікатиме водія на прийняття грошей під час керування транспортним засобом.

В цілому електричний автобус буде більш надійним та менше потребувати технічного обслуговування через конструктивні особливості та принцип приведення до руху. Це економічно вигідно та зменшується ризик простою транспорту на ремонті.

У порівняні з тролейбусом, електричний автобус зможе вільно об'їжджати перепони на шляху через свою незалежність від контактної мережі. На відмінну від дизельного автобуса, електричний не буде конкурувати з приватними автомобілями за пальне на заправних станціях в кризові моменти.

У більш – менш далекому майбутньому, електричний автобус повинен буде позбутися водія та стати безпілотним транспортним засобом. Це підвищить безпеку пересування, позбувшись людського фактору. Це додатково підвищить стійкість системи міського пасажирського перевезення автомобільним транспортом. Також це дозволить уникнути у майбутньому блокування системи перевезення пасажирів з соціального фактору, як було в Німеччині у 2023 році під час масштабних протестів водіїв.

Також більш далекими, але цілком реальними перспективними розробками розвитку міських автобусів є електричні автобуси з водневими паливними елементами. Електроенергія для руху виникає під час переробки водню. Цей вид автомобільного електричного транспортного засобу являється наступним кроком розвитку. Така система живлення має переваги перед електричним традиційним, головним чином, у дальності пересування, швидкості заряджання та відсутністю навантаження на міську електричну систему. Автомобілі, як легкові так і автобуси, вже пересуваються вулицями міст. В Україні вже є власна компанія, яка представила даний тип міського пасажирського транспорту. Компанія «Політехносервіс» у 2024 році представила модернізовану модель PTS - 12. Нажаль, вартість водню, як енергоресурсу, паливної системи цього принципу та створення мережі водневих заправних станцій втримує дану концепцію від швидкого розповсюдження по всьому світу й залишає її в якості наступного етапу розвитку міського пасажирського автомобільного транспорту після переходу всіх міст від дизельного міського пасажирського транспорту на електричний акумуляторний міський пасажирський транспорт.

Шлях розвитку міських пасажирських автомобільних транспортних засобів – безпечне й екологічне пересування пасажирів незалежно від факторів, які впливають на обслуговування міських пасажирських перевезень.

**Список використаних джерел**

1. Конституція України: Закон від 05.04.2001 №2344-III. База даних «Законодавство України»/ВР України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/en/374?lang=uk (дата звернення: 18.03.2026).

2. Конституція України: Закон від 27.05.1996 № 150. База даних «Законодавство України»/ВР України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/31002 (дата звернення: 18.03.2026).

3. Бандрівський П.П., Баб'як М.О. Перспективні транспортні засоби міських перевезень. *П'ята студентська наук.-тех. конференція*. Львів, 2014. С. 29-37.

4. Зінченко О.І., Крахмальов О.В., Островерх О.О., Краснокутський В.М., Разарьонов Л.В. Оцінка можливості застосування електробусів у м. Харків. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Вісник ХНАДУ, вип. 95, 2021.

5. Гірін І.В. Переваги та недоліки сучасних електробусів та рівень їх екологічної безпеки. *Безпека на дорозі: ІІІ-я молодіжна наук.- практ. конференція, м. Кривий Ріг, 21 травня 2021 р.: тези доповіді.* Кривий Ріг, 2021. С. 32-35.

6. Xiaolei Ma, Wenxin Ma, Yanmeng Tao, Kun Gao, Xiaohan Liu. Optimizing bus charging infrastructure by incorporating private car charging demands and uncertain solar photovoltaic generation. npj Sustainable Mobility and Transport 2, Article number: 6, 2025.

7. Nathanael Dougier, Berk Celik, Salim-Kinnou Chabi-Sika, Manuela Sechilariu, Fabrice Locment and Justin Emery. Modelling of Electric Bus Operation and Charging Process: Potential Contribution of Local Photovoltaic Production. Photovoltaic Power System: Modeling and Performance Analysis. 2023.

8. Ігор Шевченко. Попит на автобуси в Україні зріс на 2634%. NNEWS. 2023.

9. Риб'янець С. Р., Колесніков В. О. Розвиток та впровадження водневих технологій на автомобільному транспорті. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: IX-а міжнарод. наук.-тех. інтернет-конф., м. Вінниця, 14-15 квітня 2021 р.: тези доповіді.* Вінниця, 2021. С. 223-226.

10. У столиці представили новий водневий автобус, який може виробляти електроенергію. Рубрика. 2024.

11. Chahal Milmo. Standstill Britain: Public Transport. Independent. 2000.

12. Philip Oltermann. Millions of Germans face transport disruption in cost of living 'mega-strike'. The Guardian. 2023.

***Чеховський Дмитро Вадимович*** – випускник магістерського рівня кафедри транспортних технологій Харківського національного автомобільно – дорожнього університету (e-mail: chdv20012001@ukr.net).

***Chekhovsky Dmytro Vadymovich*** – graduate of the Master's degree of the Department of Transport Technologies of the Kharkiv National Automobile and Road University (e-mail: chdv20012001@ukr.net).

УДК 656.132

**Чуйко С.П.**

# МЕТОД РОЗПОДІЛУ ФАКТОРІВ ОЦІНКИ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

*Оцінка терміну служби транспортного засобу включає розподіл факторів, це технічний стан, пробіг, вік та умови експлуатації, з використанням таких підходів, як надійність, експертне оцінювання та процеси аналітичної технічної ієрархії. Ці методи пріоритезують фактори для оптимізації графіків технічного обслуговування, ремонту та заміни окремих складників, ефективно керуючи терміном служби транспортного засобу.*
***Ключові слова:*** *термін служби, ресурс автобуса, фізичний знос, технічний стан.*

*Vehicle life assessment involves the allocation of factors such as condition, mileage, age, and operating conditions, using approaches such as reliability, expert judgment, and analytical engineering hierarchy processes. These methods prioritize factors to optimize maintenance schedules, repairs, and component replacements, effectively managing the vehicle's life.*
***Keywords:*** *service life, bus resource, physical wear, technical condition*

Застосування системи сервісного технічного супроводу, що підтримує автомобіль в працездатному стані, дозволяє підтримувати показник технічного функціонування на рівні закладеного виробником, але дана величина незмінно знижуватиметься пропорційно до величини втрати ресурсу.

За даними статистики [1], близько 95% автобусів загального користування дорогах України знаходяться понад 20 років в експлуатації. Використання такого транспорту робить його некомфортним для пасажирів і навіть втрачає привабливість при вибору автобуса споживачами послуг. Крім того неналежний технічний стан наражає людей на небезпеку.

Експлуатація автобусів старше 10 років за підрахунками окремих пасажирських перевізників коштує на 35% дорожче за кілометр, ніж новіших транспортних засобів. Проте до 60% автоперевізників усіх форм господарювання все ще чекають, поки автобус повністю не втратить працездатність, перш ніж вивести його з експлуатації. Такий нераціональний підхід призводить до зростання витрат на ремонт, аварійних відмов та простоїв, яких можна уникнути. Неправильне рішення щодо ремонту чи виведення з експлуатації одного старіючого автобуса може коштувати до 30 000 доларів США протягом терміну його експлуатації, що залишився.

Автобус, термін служби якого наближається до граничного ресурсу, може бути безпечним, але безперечно потребує більшої кількості поточних ремонтів, модернізацію або значну заміну складових, має нижчу паливну ефективність і навіть не відповідає сучасним очікуванням щодо комфорту чи безпеки. Коли проблеми, пов’язані зі старінням починають накопичуватись, втрачається надійність, заміна стає більш економічно ефективною, ніж подальше технічне обслуговування.

На сучасному етапі ефективність діяльності підприємств характеризується відносною дохідністю, яка визначається, наприклад, показником рентабельності перевезень, тобто співвідношенням прибутку з витратами. Фінансовий стан автопідприємства треба систематично й усебічно оцінювати з використанням різних методів і прийомів аналізу. Непродуктивні простої рухомого складу і неефективність використання фінансових ресурсів призводить до зниження рентабельності підприємства. Відповідно, рентабельність підприємства залежить від рівня його прибутку [2].

Для оцінки умов навколишнього середовища, що визначає оптимальний термін експлуатації транспортного засобу, враховуючи інформацію про технічне обслуговування, а також різні характеристики та різні палива, використовується модель життєвого циклу. Ця модель

може бути корисним інструментом для політики технічного обслуговування та заміни транспортних засобів. Крім того, збільшення терміну служби автомобілів негативно впливає на паливну ефективність середнього транспортного засобу в автопарку країни, оскільки старі, а отже, загалом менш економічні транспортні засоби використовуються довше, що має негативні наслідки для навколишнього середовища [3].

У рекомендаціях Департаменту транспорту Техасу [4] для підприємств, які здійснюють пасажирські перевезення, пропонується врахувати два типи витрат: змінні та постійні. Змінні витрати залежать від пробігу. До них належать, наприклад, витрати на паливо-мастильні матеріали. А постійні витрати не залежать від пробігу. До них належать, наприклад, витрати на заробітну плату. В результаті розраховується загальна вартість виконаної транспортної роботи, включаючи змінні та постійні показники.

Планування та контроль ефективності пасажирських автомобільних перевезень є дуже складним за відсутності техніко-економічних показників споживання ресурсів у транспортному процесі з певною комбінацією факторів впливу. Традиційно ці показники відносили до нормування автобусних перевезень. Вивчення норм становили окрему наукову галузь, а їх практичне застосування регулюється державою. На сучасному етапі ринкових відносин методологічна основа нормування технічних операцій збережена, а існуючі норми мають рекомендаційних характер і використовуються перевізниками у своїй поточній роботі для бізнес-планування та тарифоутворення, а також інших управлінських функцій.

За даними провідних вчених про технічний стан автомобіля за 10 річний період експлуатації [5] та статистичним значенням втрати на фізичний знос складено графік, який показує динаміку зміни функціональності автомобіля та його фізичного зношення, як фактору зменшення надійності (рис. 1).

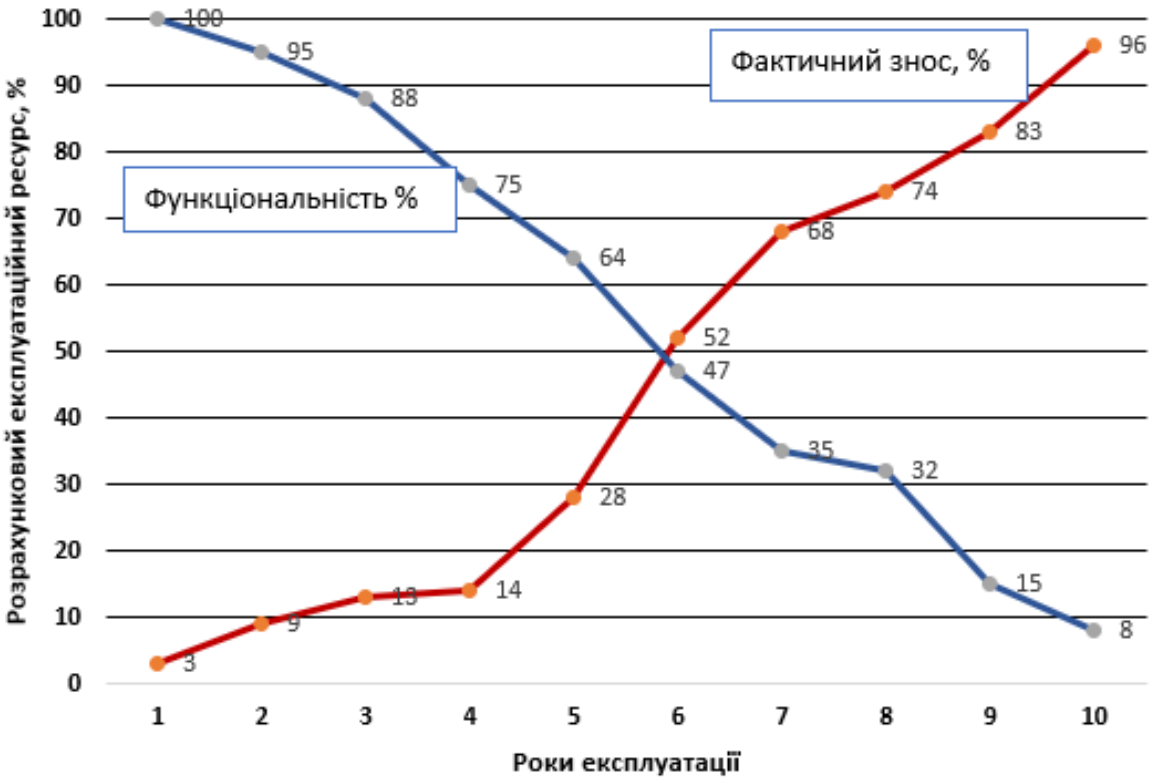



Рисунок 1 – Узагальнені зміни функціональності автомобіля та його фізичного зносу за 10-ти річний період експлуатації

Слід зазначити, що теоретично не допускається експлуатація автомобіля із втратою ресурсу більше 20%, що з економічної точки зору робить неефективною функціонування, але на практиці картина протилежна. Прямої норми «20% втрати ресурсу» для всіх автомобілів не

існує, проте заборонено рух при визначених несправностях гальм, рульового управління, фар, склоочисників (з боку водія) або порушенні вимог до коліс/шин.

Функціональність автомобіля перевізник оцінює ставленням сумарного прибутку до понесених фактичних витрат, намагаючись підтримувати прибутковість на прийнятному для експлуатанта рівні.

Зразок картки техніко-економічної оцінки, яку рекомендовано використовувати автотранспортним підприємствам, які здійснюють міські маршрутні перевезення пасажирів для прийняття рішення: капітальний ремонт чи списання (табл. 1). Кожен фактор оцінюється балами (наприклад, від 1 до 5), де 5 — критичний стан.

Таблиця 1 – Картка оцінки технічного стану маршрутного автобуса

| № з/п | Група факторів/критеріїв | Вага фактора (W) | Експертна оцінка (1-5) | Коментар для маршрутного автобуса |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Силова установка (двигун) | 0,30 | … | Витрата мастила, втрата компресії, димність, перевитрата палива |
| 2 | Несучі конструкції (рама, кузов) | 0,25 | … | Корозійні руйнування ферми, тріщини в каркасі (безпека пасажирів). |
| 3 | Ходова частина та гальма | 0,20 | … | Стан підвіски, мостів, балок, шин |
| 4 | Економічна рентабельність | 0,15 | … | Перевищення витрат на ремонт над чистим прибутком |
| 5 | Комфорт та салон | 0,10 | … | Стан сидінь, поручнів, систем опалення, вентиляції, кондиціювання |

**Метод аналізу** дозволяє структурувати проблему у вигляді ієрархії та визначати вагу кожного фактора через попарне порівняння. Це один із найпоширеніших методів для зняття невизначеності при прийнятті рішень щодо експлуатації автомобіля.

Загальний інтегральний показник технічного стану автобуса ($S_A$) розраховується як сума добутків балів на вагу критерію:

$$S_A = \sum(P_{Ai} \cdot W_i), \quad (1)$$

де $P_{Ai}$ – оцінка фактора;

$W_i$ – вага критерію.

Рекомендовані критерії по прийняттю управлінського рішення:

$S_A < 2,5$: Автобус у задовільному технічному стані, планова експлуатація.

$2,5 < S_A < 4,0$: Автобус потребує поточного ремонту або модернізації.

$S_A > 4,0$: Експлуатація небезпечна або економічно недоцільна. Списання.

Основні підсумки:

1. Пріоритетність безпеки: На відміну від приватного транспорту, для автобусів ключовим фактором є стан несучих конструкцій (рами та каркаса). Втома металу та корозія, що виникають через перевантаження в «години пік», є критичними показниками для списання, оскільки їх неможливо усунути звичайним ремонтом.

2. Економічний поріг (Метод питомих витрат): Оптимальний термін служби закінчується в точці, де витрати на технічне обслуговування та простій через ремонти починають перевищувати чистий прибуток від перевезення пасажирів. Для маршрутних автобусів цей поріг зазвичай настає після 7–10 років інтенсивної експлуатації.

3. Інтегральна оцінка: Найефективнішим методом є використання вагових коефіцієнтів, де найбільшу вагу мають двигун (30%) та кузов (25%). Це дозволяє об’єктивно оцінити стан

машини, не покладаючись лише на календарний вік або пробіг.

4. Вплив режиму експлуатації: Методика обов'язково враховує «важкі умови» (часті зупинки, низька середня швидкість), що скорочує фактичний ресурс агрегатів на 20-40% порівняно з паспортними даними виробника.

Метод розподілу факторів дозволяє перевізнику вчасно виявити момент, коли автобус перетворюється з активу на збиткову та небезпечну одиницю, що потребує заміни.

Модель життєвого циклу використовується також для оцінки умов навколишнього середовища, що визначає оптимальний час експлуатації транспортного засобу, враховуючи інформацію про технічне обслуговування, а також різні характеристики та рівні енергоефективності. Ця модель може бути корисним інструментом для політики технічного обслуговування та заміни транспортних засобів.

**Список використаних джерел**

1.When Is the Right Time to Replace a Bus in Your Fleet. URL: https://surl.li/zshndy

2. Чуйко О.С., Кравченко О.П., Чуйко С.П. Економічні ризики автотранспортних підприємств. Тези Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 12-17 травня 2025 року. - Житомир: «Житомирська політехніка», 2025. – С. 107-108. https://surl.li/nhcmqc

3. Kagawa, S.; Nansai, K.; Kondo, Y.; Gubaczek, K.; Su, S.; Minks, J.; Kudo, Y.; Tasaki, T.; Nakamura, S. The role of vehicle life extension in climate change policy. Science Technology Environment. 2011, 45, 1184–1191. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

4. Edrington, S.; Brooks, J.; Cherrington, L.; Hamilton, P.; Hansen, T.; Purto, K.; Sandage, M. Handbook: Managing Operating Costs for Rural and Small City Public Transportation Systems ; Texas A&M Transportation Institute: College Station, TX, USA, 2013; pp. 29–38. [Google Scholar]

5. Аулін, В. В. Прогнозування діагностичних параметрів технічного стану систем і агрегатів транспортних засобів / В.В. В. Аулін, А. В. Гриньків, О. п. Бруцький // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – № 4. – С. 202-206. https://surl.li/eqbgpg.

***Чуйко Сергій Петрович*** – док. філос., доцент кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Державний університет «Житомирська політехніка», 10005, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103. e-mail: expertauto@ukr.net

***Chuiko Serhiy Petrovych*** – PhD, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Automobile Transport, Zhytomyr Polytechnic State University, 10005, Zhytomyr, Chudnivska St., 103. e-mail: expertauto@ukr.net

УДК 629.113:656.13

**Шевчук В.В., Здобицький А.Я., Бачинська І.В., Головенко А.В.**

# ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ГАЛЬМІВНОГО ШЛЯХУ АВТОМОБІЛІВ ОРС ЦЗ ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ РУХУ

*Проведено дослідження параметрів поперечної стійкості та гальмівного шляху пожежно-рятувальних автомобілів за різних режимів руху. Розглянуто вплив конструктивних характеристик транспортних засобів, зокрема положення центра мас і геометричних параметрів, а також експлуатаційних факторів на показники їх стійкості та ефективність гальмування.*

*Визначено критичні швидкості втрати поперечної стійкості (заносу та перекидання) і встановлено залежність гальмівного шляху від початкової швидкості руху та коефіцієнта зчеплення шин із дорожнім покриттям.*

***Ключові слова:*** *пожежно-рятувальні автомобілі, поперечна стійкість, гальмівний шлях, режими руху, критична швидкість, центр мас, коефіцієнт зчеплення.*

*A study of the parameters of lateral stability and braking distance of fire-rescue vehicles under different driving modes is presented. The influence of vehicle design characteristics, in particular the position of the center of mass and geometric parameters, as well as operational factors on stability and braking efficiency, is analyzed.*

*Critical speeds of loss of lateral stability (skidding and rollover) are determined, and the dependence of braking distance on initial vehicle speed and the tire–road adhesion coefficient is established.*

***Keywords:*** *fire-rescue vehicles, lateral stability, braking distance, driving modes, critical speed, center of mass, adhesion coefficient.*

Безпека експлуатації автомобілів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (ОРС ЦЗ) значною мірою визначається їх динамічними властивостями, зокрема поперечною стійкістю та ефективністю гальмування за різних режимів руху. В умовах виконання службових завдань такі транспортні засоби працюють у змінних швидкісних режимах, що підвищує вимоги до їх стійкості та керованості.

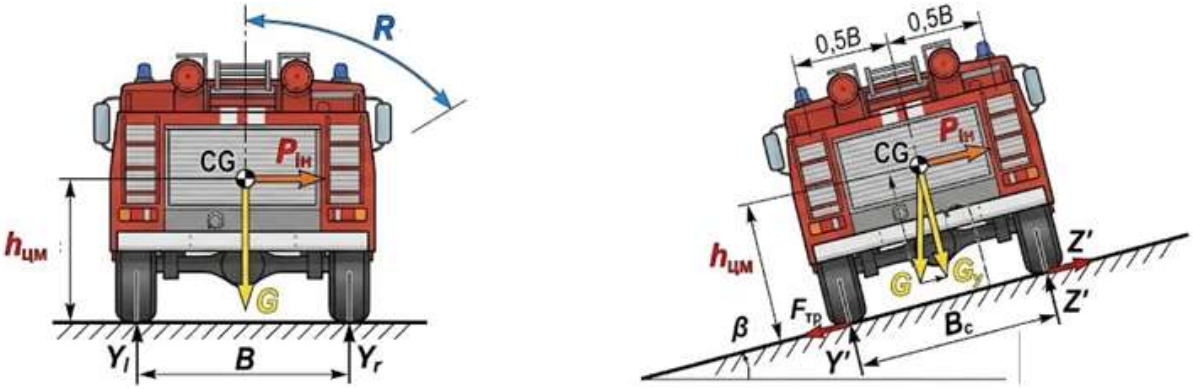
Втрата поперечної стійкості, яка проявляється у вигляді заносу або перекидання, а також збільшення гальмівного шляху при підвищених швидкостях руху є одними з основних факторів виникнення аварійних ситуацій. Це обумовлено впливом інерційних сил, конструктивних параметрів транспортного засобу та умов взаємодії шин із дорожнім покриттям.

Поперечна стійкість автомобілів ОРС ЦЗ визначається їх здатністю протидіяти дії бічних сил і залежить від положення центра мас, ширини колії та режиму руху. Критичні значення швидкості відповідають умовам виникнення заносу або втрати рівноваги транспортного засобу.

Гальмівний шлях є кількісною характеристикою ефективності процесу гальмування і визначається початковою швидкістю руху, коефіцієнтом зчеплення шин із дорожнім покриттям та технічним станом гальмівної системи. Зі збільшенням швидкості руху гальмівний шлях зростає за квадратичним законом, що суттєво впливає на безпеку руху [1-4].

Таким чином, визначення параметрів поперечної стійкості та гальмівного шляху автомобілів ОРС ЦЗ за різних режимів руху є актуальним науково-прикладним завданням, спрямованим на підвищення ефективності та безпеки їх експлуатації.

Під час руху транспортного засобу по криволінійній траєкторії з центром повороту *CG* та радіусом *R* (рис. 1, а) на нього діє відцентрова сила інерції, яка сприяє виникненню бокового ковзання (заносу) або перекидання автомобіля [2, 5].




*а*) на горизонтальній площині; *б*) на дорозі з поперечним ухилом

$P_ц$ – відцентрова сила інерції, Н; $h_{цт}$ – висота центра тяжіння автомобіля, м; $G$ – вага автомобіля, Н; $B$ – ширина колії, м.

Рисунок 1 – Схема сил, що діють на автомобіль на граничному поперечному схилі

Враховуючи, що поперечний ухил проїзної частини, що зустрічається на дорогах, які погано обслуговуються, суттєво впливає на величину граничної швидкості, а в свою чергу є причинною ДТП.

Для визначення параметрів поперечної стійкості вантажних автомобілів під час руху криволінійними ділянками дороги враховували конструктивні параметри автомобілів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (таблиці 1 і 2).

Таблиця 1 – Результати визначення гальмівного шляху в залежності від критичної швидкості заносу $V_з$ автомобілів ОРС ЦЗ

| Радіус заокруглення ділянки дороги, $R$, м | Критична швидкість заносу автомобіля, $V_з$, (км/год) | | | Гальмівний шлях, $S_г$, (м) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *сухий асфальт* $\varphi = 0,8$ | *мокрий асфальт* $\varphi = 0,5$ | *ожеледиця* $\varphi = 0,2$ | *сухий асфальт* $\varphi = 0,8$ | *мокрий асфальт* $\varphi = 0,5$ | *ожеледиця* $\varphi = 0,2$ |
| 20 | 45,1 | 35,3 | 22,5 | 35,9 | 35,2 | 35,7 |
| 40 | 63,8 | 49,9 | 31,9 | 71,8 | 70,3 | 71,8 |
| 60 | 78,1 | 61,1 | 39 | 107,6 | 105,4 | 107,4 |
| 80 | 90,2 | 70,3 | 45,1 | 143,6 | 139,6 | 143,6 |
| 100 | 100,8 | 78,9 | 50,4 | 179,3 | 175,8 | 179,3 |
| 120 | 110,4 | 86,4 | 55,2 | 215,1 | 210,8 | 215,1 |

Таблиця 2 – Результати визначення гальмівного шляху в залежності від критичної швидкості перекидання $V_{пер}$ автомобілів ОРС ЦЗ

| Радіус заокруглення ділянки дороги, $R$, м | Критична швидкість заносу автомобіля, $V_{пер}$, (км/год) | | Гальмівний шлях, $S_г$, (м) | |
|---|---|---|---|---|
| | *сухий асфальт* $\varphi = 0,8$ | *мокрий асфальт* $\varphi = 0,5$ | *сухий асфальт* $\varphi = 0,8$ | *мокрий асфальт* $\varphi = 0,5$ |
| 20 | 55,3 | 62,1 | 53,97 | 108,89 |
| 40 | 78,3 | 87,7 | 108,20 | 217,18 |
| 60 | 95,8 | 107,5 | 161,97 | 326,31 |
| 80 | 110,7 | 124,1 | 216,26 | 434,86 |
| 100 | 123,7 | 138,8 | 270,04 | 543,99 |
| 120 | 135,5 | 152,03 | 324,02 | 652,63 |

За результатами досліджень, будуємо графік залежності критичної швидкості заносу $V_з$ та перекидання $V_{пер}$ залежно від радіуса повороту $R$ автомобілів ОРС ЦЗ за різних режимів

руху (тип дорожнього покриття – асфальтобетонне; коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою сухе покриття $\varphi = 0{,}7$, мокре покриття – $\varphi = 0{,}5$ та ожеледиця – $\varphi = 0{,}2$; поперечний ухил на криволінійній ділянці дороги, $i_{non} = 0{,}03$ %, висота центра тяжіння автомобіля $h_{цт} = 0{,}56$ м, ширина колії транспортного засобу $B$ =1,82 м) (рис. 2).

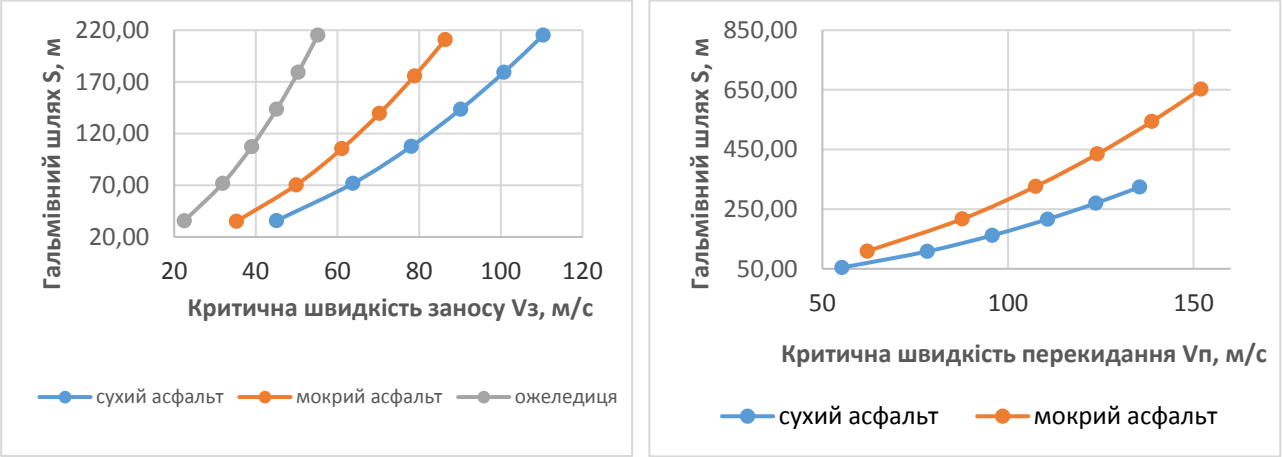



Рисунок 2 – Залежності критичної швидкості заносу $V_з$ (*а*) та перекидання $V_{пер}$ (*б*) від радіуса повороту $R$ в особливих умовах руху

Аналіз графічних залежностей (рис. 2) показує, що зі збільшенням радіуса повороту від 50 до 110–120 м критична швидкість заносу для сухого асфальту зростає орієнтовно з 50–60 до 100–110 м/с. Для мокрого покриття в аналогічному діапазоні радіусів вона змінюється приблизно від 40–45 до 85–90 м/с, тоді як в умовах ожеледиці її значення становлять лише 25–30 м/с при малих радіусах, що більш ніж у 2 рази менше порівняно з сухим покриттям.

Отримані результати свідчать про високу чутливість критичної швидкості заносу до стану дорожнього покриття. Зокрема, перехід від сухого до мокрого покриття призводить до зниження допустимої швидкості приблизно на 15–25 %, а за умов ожеледиці — більш ніж на 50 %.

Критична швидкість перекидання в досліджуваному діапазоні радіусів є значно вищою і для сухого асфальту становить близько 200–300 м/с при радіусах 80–120 м, зростаючи до 300–350 м/с при R≈ 150R≈150 м. Для мокрого покриття ці значення знижуються до 150–200 м/с при менших радіусах та до 300–350 м/с при більших.

Порівняльний аналіз показує, що в усьому діапазоні радіусів критична швидкість заносу є у 2–3 рази меншою за швидкість перекидання. Це означає, що в реальних умовах експлуатації втрата поперечної стійкості транспортного засобу настає насамперед за рахунок заносу, а не перекидання.

Таким чином, при визначенні безпечних режимів руху автомобілів ОРС ЦЗ на криволінійних ділянках доріг визначальним чинником є стан дорожнього покриття та відповідне значення коефіцієнта зчеплення шин із дорогою. Погіршення умов зчеплення призводить до суттєвого зниження допустимих швидкостей руху, що необхідно враховувати під час експлуатації транспортних засобів за різних режимів руху.

**Список використаних джерел**

1. Ірина Бачинська, Віктор Шевчук. Дослідження безпечності ділянок дорожньої мережі за коефіцієнтом безпеки. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 13 грудня 2024 року. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С. 180–181.
2. Шевчук В.В., Піндер В.Ф., Бачинська І.В. Визначення параметрів поперечної стійкості вантажних автомобілів під час руху криволінійними ділянками дороги. Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет конференції «Проблеми та перспективи розвитку авто-

мобільного 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. С. 412-415. ISBN 978-617-8163-47-1.

3. 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 – Режим доступу: https://drive.google.com/drive/folders/1cuunzthh_ure2TQm154yi4bBPoaPraAq?usp =sharing, вільний. ISBN 978-966-994-056-8.

4. А.Я. Здобицький, А.В. Головенко. Інтелектуальні методи діагностики стану протектора шин на основі машинного навчання. 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. – 536 с. ISBN 978-617-8163-71-6

5. Р.М. Рогатинський, О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко, Р.В. Хорошун, В.В. Шевчук. Модель руху автомобіля по криволінійній трасі. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Львів. 2023. Вип. №28. С. 115–122.

***Шевчук Віктор Володимирович*** **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

***Здобицький Андрій Ярославович*** **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

***Бачинська Ірина Володимирівна*** **–** здобувач освіти факультету пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

***Головенко Андріана Володимирівна*** **–** здобувач освіти факультету 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

***Andriy Zdobytskyi*** – PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Vehicle Operation and Fire-Rescue Equipment, Lviv State University of Life Safety, e-mail: andrii.zdobytskyi@ldubgd.edu.ua

***Iryna Bachynska*** – student of the Faculty of Fire and Technogenic Safety at Lviv State University of Life Safety

***Andriana Holovenko*** – student of the Faculty of Fire and Technogenic Safety at Lviv State University of Life Safety

УДК 656.052

**Шевчук Є.В., Наглюк І.С.**

# АНАЛІЗ ПЕРЕДОВИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У МІСТАХ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇХ ВДОСКОНАЛЕННЯ

*Розглянуто сучасні підходи до регулювання дорожнього руху у великих містах з використанням інтелектуальних транспортних систем. Проведено аналіз сучасних адаптивних систем керування світлофорами, зокрема SCOOT та SCATS. Наведено математичні моделі транспортних потоків, що застосовуються для оптимізації роботи світлофорних об'єктів. Запропоновано напрями вдосконалення систем управління дорожнім рухом на основі використання технологій штучного інтелекту, прогнозування транспортних потоків та інтеграції з інфраструктурою «розумного міста».*

***Ключові слова:*** *інтелектуальні транспортні системи, транспортні потоки, адаптивне керування, світлофорне регулювання, smart city.*

*Modern approaches to traffic control in large cities using intelligent transport systems are considered. Modern adaptive traffic light control systems, in particular SCOOT and SCATS, are analyzed. Mathematical models of traffic flows used to optimize the operation of traffic light facilities are presented. Directions for improving traffic control systems based on the use of artificial intelligence technologies, traffic flow forecasting and integration with the "smart city" infrastructure are proposed.*

***Keywords:*** *intelligent transport systems, traffic flows, adaptive control, traffic light control, smart city.*

Зростання рівня автомобілізації у великих містах призводить до значного збільшення навантаження на транспортну інфраструктуру. Урбанізація та підвищення мобільності населення спричиняють збільшення інтенсивності дорожнього руху, що призводить до виникнення заторів, збільшення часу пересування та підвищення рівня забруднення навколишнього середовища. Традиційні методи регулювання дорожнього руху, які базуються на фіксованих циклах світлофорного регулювання, не здатні ефективно адаптуватися до змінних умов транспортних потоків.

У зв'язку з цим значна увага приділяється впровадженню інтелектуальних транспортних систем (Intelligent Transport Systems – ITS). Такі системи забезпечують збір, передачу та аналіз інформації про транспортні потоки у режимі реального часу та дозволяють оптимізувати роботу світлофорних об'єктів. Впровадження ITS дозволяє значно підвищити пропускну здатність міської дорожньої мережі та зменшити затримки транспортних засобів.

Сучасні системи управління дорожнім рухом використовують різноманітні джерела отримання інформації, зокрема відеокамери, індукційні петлі, радарні датчики та GPS‑дані транспортних засобів. Отримана інформація передається до центрального центру управління, де вона аналізується та використовується для оптимізації параметрів сигналізації світлофорів.

Однією з найбільш відомих систем адаптивного керування є система SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique), яка використовується у багатьох містах Європи. SCOOT здійснює постійний моніторинг транспортних потоків та змінює параметри сигналізації світлофорів у режимі реального часу [1].

Іншою поширеною системою є SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), яка була розроблена в Австралії та використовується у багатьох країнах світу. Система аналізує інтенсивність руху та автоматично регулює тривалість фаз світлофорів залежно від транспортного навантаження [2].

Архітектура інтелектуальної транспортної системи наведена на рис. 1.

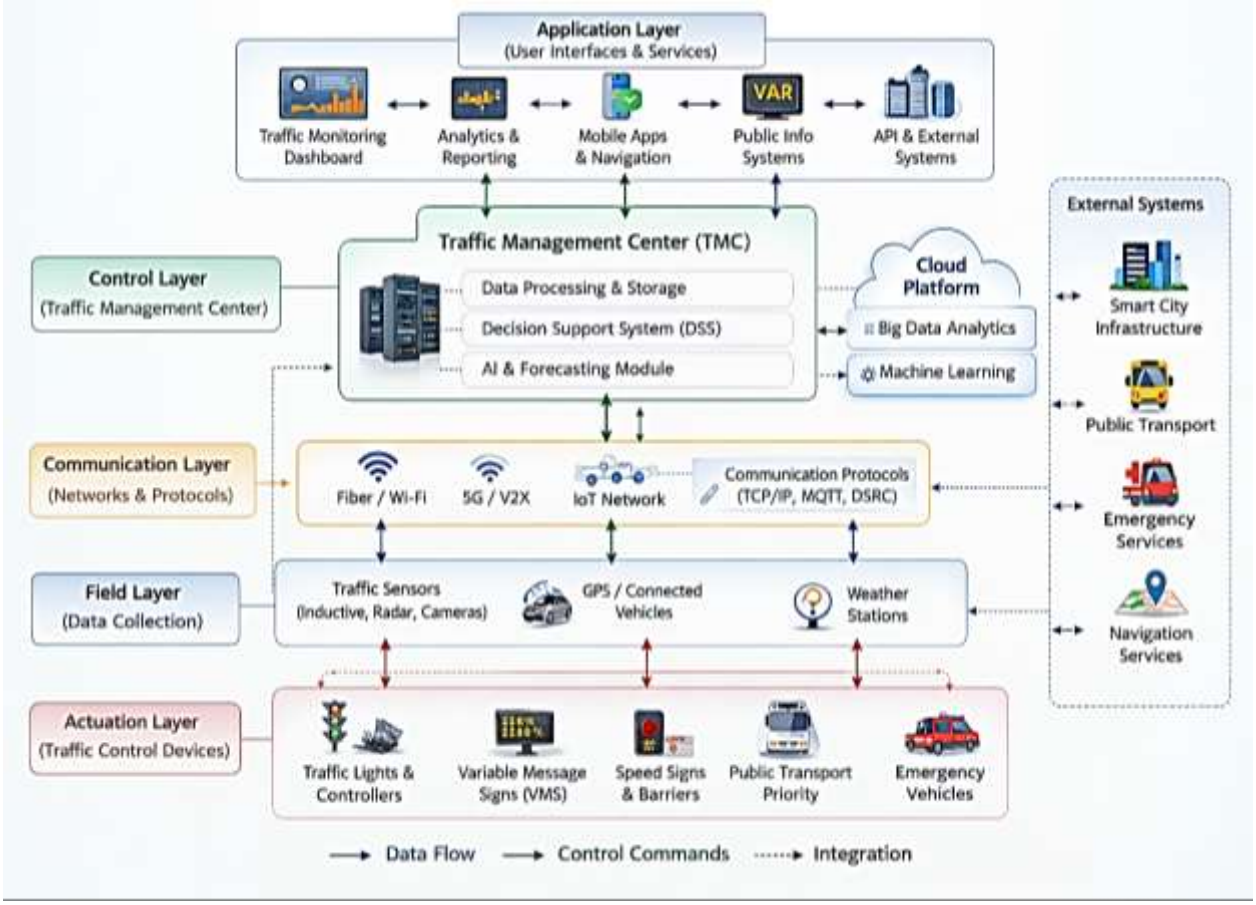



Рисунок 1 – Узагальнений варіант архітектури інтелектуальної транспортної системи управління дорожнім рухом [3]

Узагальнена архітектура інтелектуальної транспортної системи управління дорожнім рухом складається з декількох функціональних рівнів.

Нижній рівень включає польові пристрої збору даних, до яких належать індукційні датчики, відеокамери, радарні сенсори, а також GPS-дані транспортних засобів. Ці пристрої забезпечують безперервний моніторинг параметрів транспортного потоку, зокрема інтенсивності руху, швидкості транспортних засобів та рівня завантаження дорожньої мережі.

Середній рівень представлений системами передачі та обробки інформації. На цьому рівні здійснюється передача даних через комунікаційні мережі до центрів управління, а також їх попередня обробка, фільтрація та агрегація.

Верхній рівень складається з центрального центру управління дорожнім рухом, де відбувається аналіз отриманих даних, моделювання транспортних потоків та формування керуючих сигналів. На основі алгоритмів оптимізації та адаптивного керування визначаються параметри роботи світлофорних об'єктів.

Така багаторівнева архітектура забезпечує ефективну взаємодію між елементами транспортної інфраструктури та дозволяє оперативно реагувати на зміни умов дорожнього руху.

Для аналізу ефективності систем регулювання дорожнього руху широко використовуються математичні моделі транспортних потоків. Однією з основних характеристик транспортного потоку є його інтенсивність.

Інтенсивність транспортного потоку визначається за формулою [4]:

$$q = \frac{N}{T}\ , \qquad (1)$$

де $q$ – інтенсивність транспортного потоку;

$N$ – кількість транспортних засобів, що проходять через переріз дороги;

$T$ – інтервал часу спостереження.

Для визначення оптимального циклу світлофорного регулювання широко використовується формула (Вебстера) [5]:

$$C = (1{,}5L + 5)/(1 - Y)\ , \qquad (2)$$

де $C$ – оптимальний цикл світлофора;

$L$ – втрати часу у циклі;

$Y$ – сумарне відношення інтенсивності потоку до пропускної здатності.

Середня затримка транспортних засобів на перехресті може бути визначена за формулою [6]:

$$D = \frac{0{,}5C\left(1-\frac{g}{C}\right)^2}{(1-\min(1,X)\frac{g}{C}}\ , \qquad (3)$$

де $D$ – середня затримка транспортних засобів;

$g$ – тривалість зеленого сигналу;

$X$ – ступінь насичення потоку.

Приклад адаптивного регулювання інтенсивності руху показано на рисунку 2.

У разі збільшення кількості транспортних засобів на підході до перехрестя система отримує інформацію від датчиків руху та оперативно аналізує поточні параметри транспортного потоку.

На основі отриманих даних алгоритм керування змінює параметри сигналізації світлофора, зокрема тривалість зеленого сигналу, порядок фаз або тривалість циклу регулювання. Завдяки цьому забезпечується більш ефективний пропуск транспортних засобів через перехрестя та зменшення затримок.

Характерною особливістю адаптивних систем є їх здатність реагувати на зміну транспортної ситуації практично в режимі реального часу, що дозволяє оперативно адаптувати параметри керування до поточних умов дорожнього руху.

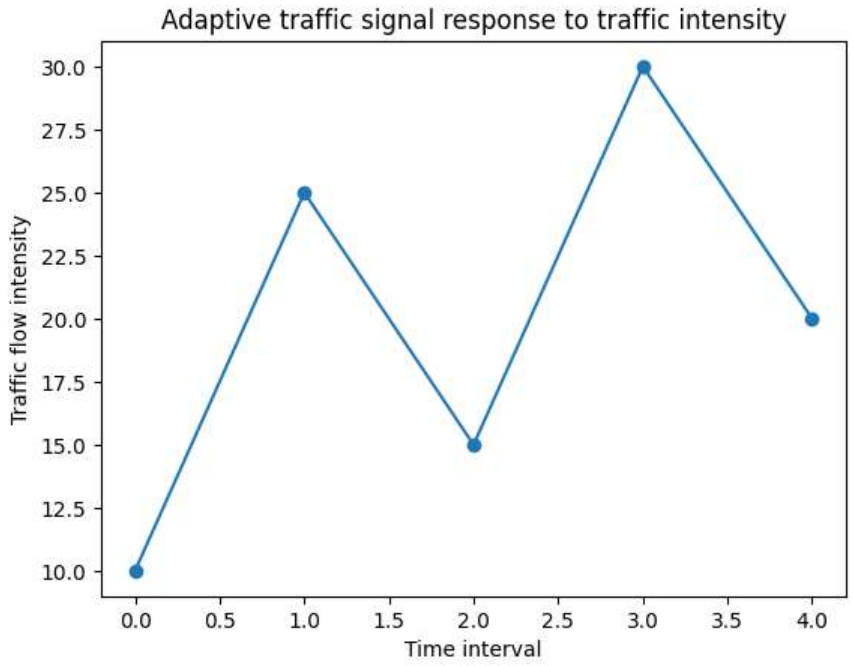



Рисунок 2 – Реакція адаптивної системи керування світлофорами на зміну інтенсивності транспортного потоку [7]

Подальший розвиток систем регулювання дорожнього руху пов'язаний із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту. Алгоритми машинного навчання можуть використовуватися для прогнозування транспортних потоків та оптимізації параметрів сигналізації світлофорів у режимі реального часу [8].

Одним із перспективних напрямів є використання технологій Інтернету речей (IoT). Датчики, встановлені на транспортній інфраструктурі, можуть передавати дані про інтенсивність руху до центральних систем управління.

Іншим важливим напрямом є інтеграція систем управління дорожнім рухом з іншими компонентами інфраструктури «розумного міста», зокрема системами громадського транспорту, паркування та навігаційними сервісами.

Проведений аналіз показав, що використання інтелектуальних транспортних систем дозволяє значно підвищити ефективність управління дорожнім рухом у містах. Адаптивні системи керування світлофорами, такі як SCOOT та SCATS, забезпечують оптимізацію транспортних потоків та зменшення затримок транспортних засобів.

Подальший розвиток систем управління дорожнім рухом пов'язаний із використанням технологій штучного інтелекту, машинного навчання та Інтернету речей. Інтеграція таких систем з інфраструктурою «розумного міста» дозволить створити ефективну транспортну систему майбутнього.

**Список використаних джерел**

1. Hunt P., Robertson D. SCOOT – A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals. TRRL, 1982. p. 1–3.
2. Lowrie P. SCATS: The Sydney Coordinated Adaptive Traffic System. RTA NSW, 1992. p. 2–6.
3. Salazar R., Diaz H. Methodology for Design of an Intelligent Transport System. 2019. p. 8–9.
4. Garber N., Hoel L. Traffic and Highway Engineering. 5th ed. Cengage Learning, 2015. p. 181–182.
5. Webster F. V. Traffic Signal Settings. Road Research Technical Paper No.39. HMSO, London, 1958. p. 9–11.
6. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. Washington DC, 2016. p. 18-15.
7. Papageorgiou M., Diakaki C. Review of Road Traffic Control Strategies. Proceedings of the IEEE, 2003. p. 2043–2067.
8. Elharoun M. Deep Reinforcement Learning for Traffic Signal Control. Transportation Research Part C, 2025. p. 1–15.
9. Chat GPT-5 (OpenAI, 2026) — для початкового пошуку та систематизації літературних джерел за темою дослідження.

***Шевчук Євгеній Вікторович*** – аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, (61002 м.Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, e-mail: shev81089@gmail.com)
***Наглюк Іван Сергійович*** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри організації та безпеки дорожнього руху Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого 25, e-mail: isnagluk@ukr.net)

***Shevchuk Yevhenii*** – Postgraduate Student, Kharkiv National Automobile and Highway University (25 Yaroslava Mudroho St., Kharkiv, 61002, Ukraine, e-mail: shev81089@gmail.com).
***Nahliuk Ivan –*** Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Traffic Organization and Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University (25 Yaroslava Mudroho St., Kharkiv, 61002, Ukraine, e-mail: isnagluk@ukr.net)

УДК 629.3.082.4

**Шепеленко І.В., Красота М.В., Магопець С.О.**

# ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МИТТЯ АВТОМОБІЛІВ

*Аналіз сучасних технологій та обладнання для миття автомобілів дозволяє обґрунтовано підійти до їх вибору, а також визначити перспективність автоматизованих, безконтактних систем миття та мийок самообслуговування.*

***Ключові слова:*** *автомийка, технології, обладнання, безконтактний спосіб, самообслуговування.*

*An analysis of modern car wash technologies and equipment enables an informed approach to their selection, as well as an assessment of the potential of automated, contactless car wash systems and self-service car washes.*

***Key words:*** *car wash, technology, equipment, contactless method, self-service.*

На сучасному етапі розвитку автомобільного транспорту, який характеризується значним зростанням кількості світового автопарку, особливої важливості набувають питання якості та своєчасності виконання робіт з технічного обслуговування (ТО) та ремонту автомобілів.

Однією з обов'язкових умов захисту кузова, збереження його лакофарбового покриття, а також доступності до агрегатів та вузлів транспортного засобу є миття автомобілів [1]. Разом з тим, саме миття автомобілів залишається одним з найбільш трудомістких процесів ТО автомобілів. Наприклад, за даними [2], середня трудомісткість ручного миття вантажного автомобіля середньої вантажопідйомності складає близько 15 чол.-хв, вантажного автомобіля великої вантажопідйомності – 35 чол.-хв. Отже, цілком зрозумілим є доцільність мінімізації ручної праці, переходу до високого рівня механізації та автоматизації задля забезпечення високої продуктивності та якості виконання мийних робіт, особливо в брудних, сирих, некомфортабельних умовах.

Слід відзначити, що традиційні методи миття автомобілів постають перед викликами сталого розвитку [3], що пов'язані з високою питомою витратою енергоресурсів та значним споживанням прісної води. Тому, вкрай важливим є необхідність впровадження енергоефективних технологій, в тому числі систем оборотного водопостачання, що передбачає багаторазове використання води в одному технологічному процесі без скидання стічних вод в природні водойми [4].

За ступенем силового впливу на поверхню кузова автомобіля розрізняють: гідродинамічний (струменевий), гідроабразивний та комбінований способи миття. За механізмом миття слід відзначити контактні та безконтактні технології. Аналіз особливостей цих способів наведено в табл. 1.

Представлені дані (табл. 1) можуть слугувати практичними рекомендаціями щодо вибору технології миття автомобілів, відштовхуючись від їх технологічних можливостей, переваг та недоліків.

Наприклад, для миття легкових автомобілів найбільш доцільним виглядає безконтактний спосіб миття, що забезпечує збереженість лакофарбового покриття.

Гідродинамічний спосіб є ефективним при митті вантажних та спеціальних автомобілів. При значних забрудненнях цілком доцільним є комбінований спосіб миття.

Перед ремонтом окремі вузли та агрегати проходять миття зазвичай гідроабразивним способом [5].

Таким чином, можна стверджувати, що вибір способу миття автомобілів повинен здійснюватися з урахуванням характеру забруднень, вимог до якості збереження лакофарбового покриття, а також економічних та екологічних міркувань.

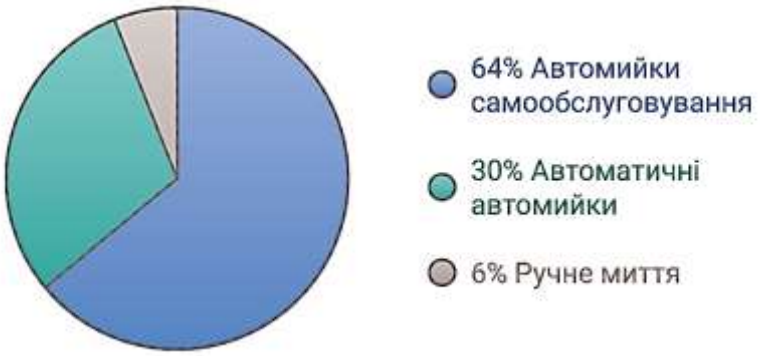



Рисунок 1 – Розподіл способів миття автомобілів в Європі

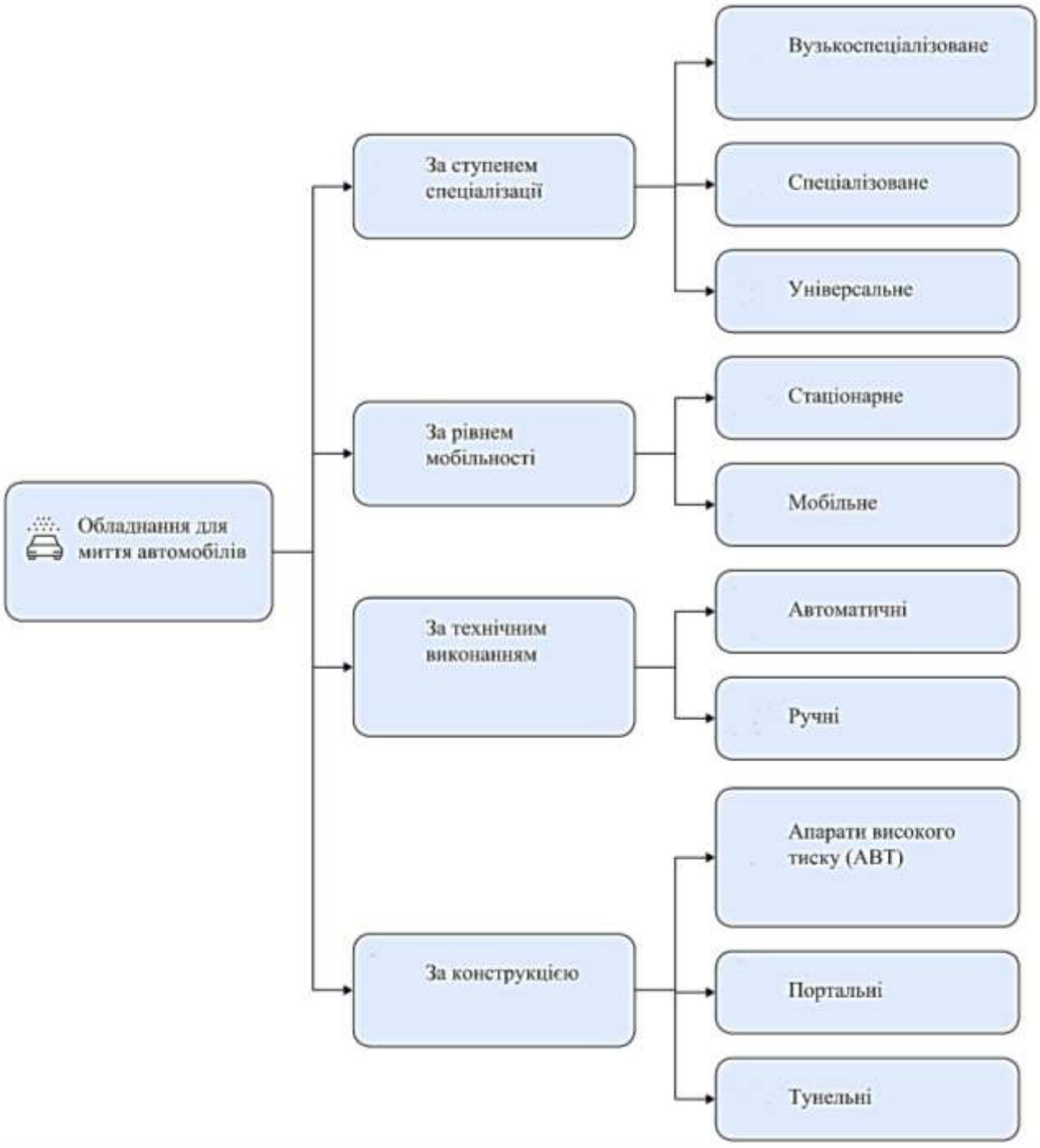



Рисунок 2 – Класифікація обладнання для миття автомобілів

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика різних способів миття автомобілів

| Спосіб миття автомобілів | Сутність | Переваги | Недоліки |
|---|---|---|---|
| Гідродинамічний | Перетворення статичного напору рідини у динамічний | Відсутність механічного контакту з поверхнею, можливість очищення у складних місцях | Низька ефективність проти стійкого забруднення |
| Гідроабразивний | Спеціальна абразивна суміш під дією стисненого повітря з великою швидкістю подається на поверхню, що очищається | Ефективний для миття забруднених агрегатів автомобілів перед їх ремонтом | Недопустимий для миття лакофарбового покриття |
| Контактний | Механічне видалення забруднень з використанням щіток, губок та інш. | Можливість видалення різних типів забруднень | Високий ризик пошкодження лакофарбового покриття |
| Безконтактний | Спільна дія спеціальних сильнодіючих миючих речовин і потужних струменів води під високим тиском. | Найбільш безпечний для лакофарбового покриття | Не завжди повністю видаляє сильні забруднення та необхідність у використанні спеціальних миючих речовинах |

Сучасний світової ринок обладнання для миття автомобілів різноманітний та охоплює близько 450 тис. автомийок [6]. За даними [7] в Європі більшість власників автомобілів віддають перевагу самообслуговуванню на автомийках (рис. 1).

При цьому, обладнання для миття автомобілів може бути класифіковане за різними ознаками [8, 9]: ступенем спеціалізації, рівнем мобільності, технічним виконанням та конструкції (рис. 2).

Враховуючи різноманіття конструкцій для виконання робіт з миття автомобілів при виборі відповідного обладнання повинні бути враховані його технічні характеристики, вимоги до якості очищення та економічні фактори. Сучасні тенденції розвитку ринку послуг з миття автомобілів свідчать про перспективність автоматизованих та безконтактних систем миття, а також мийок самообслуговування.

**Список використаних джерел**

1. Janik H., Kupiec A. Trends in modern car washing. *Polish J. of Environ. Stud*. 2007. Vol. 16, No. 6. P. 927-931.

2. Красота М.В, Кулєшков Ю.В., Магопець С.О., Шепеленко І.В., Бевз О.В., Осін Р.А., Руденко Т.В. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів : навчальний посібник. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. 208 с.

3. Іванченков, В.С. Обґрунтування викликів сталого розвитку в умовах глобальної нестабільності. *Економічний простір*, 2025. 201. С. 304-310.

4. Андрейченко А. В. Основні принципи безвідходного виробництва сучасного АПК. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки*. 2017. Вип. 32. С. 280-287.

5. Новіков Ф.В., Анділахай О.О. Основи струминно-абразивної обробки дрібних деталей: монографія. Харків: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. 348 с.

6. https://worldmetrics.org/carwash-industry-statistics/?utm_source=chatgpt.com.

7. M J Geca 2021 *J. Phys.: Conf. Ser*. 2130 012004.

8. Шепеленко І.В., Красота М.В., Шумляківський В.П. Сучасні технології миття автомобілів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту : XII-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 16-18 квітня 2024 р.: тези доповіді.* Вінниця, 2024. С. 357-359.

9. Шепеленко І.В., Красота М.В. Особливості надання автосервісних послуг у сучасних умовах. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту (Innovative Technologies for the Development and Efficiency of Road Transport) : VIII-а Міжн. наук.-практ. конф., м. Кропивницький, 19-21 листопада 2025 р.: тези доповіді.* Кропивницький, 2025. С. 9-11.

***Шепеленко Ігор Віталійович*** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8, e-mail: kntucpfzk@gmail.com).

***Красота Михайло Віталійович*** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8, e-mail: krasotamv@ukr.net).

***Магопець Сергій Олександрович*** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету (25006, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8, e-mail: magserg@ukr.net).

***Shepelenko Ihor*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Exploitation and repairing machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropyvnytskyi, 7 Universytetskyi Avenue, e-mail: kntucpfzk@gmail.com).

***Krasota Mykhailo*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate professor, Associate Professor of the Department of Exploitation and repairing machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropyvnytskyi, 7 Universytetskyi Avenue, e-mail: krasotamv@ukr.net).

***Mahopets Sergii*** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Associate professor, Head of the Department of Exploitation and repairing machines of Central Ukrainian National Technical University (25006, Kropyvnytskyi, 7 Universytetskyi Avenue, e-mail: magserg@ukr.net).