

**АКАДЕМІЯ ТЕХНІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗМІСТУ ОСВІТИ  
CONNECTIVE TECHNOLOGIES LTD (ВЕЛИКОБРИТАНІЯ)**

# **ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

**APPLIED SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESEARCH**

Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції  
( 14-16 травня 2024 р.)

Видавець Кушнір Г. М.  
Івано-Франківськ – 2024

УДК 60  
П 75

**ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**  
Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції

**ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:**

**Голова оргкомітету:**

**Кузь М.В.** – доктор технічних наук, президент Академії технічних наук України, професор кафедри інформаційних технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ.

П 75            **Прикладні** науково-технічні дослідження : матеріали VI міжнар. наук.-прак. конф., 14-16 трав. 2024 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М. – 2024. – 292 с.  
ISBN 978-617-7926-61-9

У збірнику надруковано матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження».

Для студентів, аспірантів, викладачів ЗВО та наукових організацій.

**УДК 60**

**ISBN 978-617-7926-61-9**

© Авторський колектив, 2024

СЕКЦІЯ 1



# ПРИРОДНИЧІ НАУКИ

# Environmental Situation in Industrial Regions: the Influence of Mining and Chemical Activity and Ways of its Optimization

Vladyslav Dzhumelia, Elvira Dzhumelia, Orest Kochan

*Lviv Polytechnic National University  
Lviv, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

The mining and chemical industry is considered one of the key sectors of industry worldwide. For centuries, the mining (and later mining and chemical) industry has been a major factor contributing to economic growth, technological progress, and social development. However, this development is often accompanied by negative consequences:

- soil, water and atmosphere pollution;
- loss of biodiversity;
- visual changes in the landscape;
- abandonment of the territories of mines and landfills;
- negative impact on people's health.

During various mining and chemical activity stages, multiple impacts on the natural environment are noted. The work of mining and chemical enterprises determines man-made changes that greatly complicate the environmental situation at the local level. One such intensively exploited industrial basin is the Pre-Carpathian Sulphur Basin. State Enterprise “Rozdil Mining and Chemical Enterprise “Sirka”” and Yavoriv Mining and Chemical Enterprise “Sirka” became the main facilities in this basin, where mining operations were carried out. Inappropriate method of open-pit sulphur extraction led to the distortion of the natural landscape, the generation of man-made waste, and the pollution of soils and water bodies [1-3].

## II. ANALYSIS OF LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS

According to the results of the research of different scientists [4-6], the geological and ecological situation in Ukraine is characterized by a state of crisis, which continues over time deteriorate, in particular due to the irrational use of natural resources and technogenic influence. Added to this are extreme natural phenomena such as floods, droughts, landslides, seismic events, subsidence, mudslides and snow avalanches [6].

Among all exogenous geological phenomena observed on the territory of Ukraine, landslides are considered the most common and most dangerous [7, 8]. Mining and chemical activity significantly impact geophysical processes on the Earth's surface. Erosion, karst phenomena, suffusion, and landslides, as well as soil and water pollution, are the consequences of this activity. This is especially noticeable in the industrial zone of Novyi Rozdil (Ukraine).

Landslides of unstable slopes were observed even during the exploitation of sulphur quarries. After the reservoirs were filled, they became active again. This process is accompanied by:

- landslides and landslides;
- destruction of surface layers of outcrops as a result of weathering;
- erosion by waves;
- erosion due to various processes.

### III. RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

The sections of the Northern and North-Eastern sides of the Rozdil quarry are very dangerous due to the location of residential buildings and infrastructure there [29, 30].

In 2003, the edge of the quarry of the State Enterprise “Rozdil Mining and Chemical Enterprise “Sirka”” approached the village of Malekhiv, which led to a landslide. Since then, there has been an increase in landslides and erosion in this area, which poses a threat to the houses of the village of Malekhiv. This situation confirms the need to take immediate measures to prevent such dangers.

The liquidation of the mining and chemical enterprise creates a number of environmental problems. Insufficient or untimely financing of remediation measures poses a threat to the environment, especially with regard to self-healing processes, such as the hydrogeological regime and the activation of landslides. Water and soil quality control remains an urgent task after liquidation [9-15].

The principles of environmental monitoring of the enterprise at the stage of liquidation have not been fully developed. Scientific substantiation of the monitoring system in the area of former mining activity, where the mosaic of technogenesis is complex, is needed. This problem is currently only beginning to be solved, requiring the application of various theoretical provisions and methodological tools [16-18].

Considering the residual danger in the territory, ecological monitoring of environmental components and sources of danger becomes necessary. Making decisions about soil, water and waste management requires complete information. The creation of a single automated information system based on geo-information technologies can solve this problem.

The strategy of control and monitoring is based on problem statement and solution of strategic tasks, such as research of geodynamic processes and assessment of the hydrosphere. Solving tactical tasks requires a detailed strategic assessment of the system and the use of research results [16-22].

To ensure environmental safety, it is necessary to develop and implement clean technologies, establish strict environmental standards, carry out reclamation of natural resources and ensure constant monitoring of the state of the environment.

### IV. CONCLUSION

Based on the analysis, it can be estimated that the mining and chemical industry plays an important role in economic development, technological progress and social welfare. However, it has been established that this economic growth is accompanied by numerous negative consequences, including soil, water and air pollution, loss of biodiversity and other problems that have a serious impact on the ecological situation.

It is substantiated that the activity of mining and chemical enterprises is a determining factor of technogenesis, which complicates the ecological situation in local territories. In particular, using the example of the Pre-Carpathian sulphur bearing basin, it was established that irregular sulphur production leads to the distortion of the natural landscape and environmental pollution.

Based on the presented facts and arguments, it can be concluded that only through a comprehensive approach and joint efforts, it is possible to achieve a significant improvement of the environmental situation and ensure sustainable economic and social development.

### V. ACKNOWLEDGMENT

This paper is supported by the National Research Foundation of Ukraine, project number 0123U103529 (2022.01/0009) “Assessing and forecasting threats to the reconstruction and sustainable operation of objects of critical infrastructure” from the contest “Science for reconstruction of Ukraine in the war and post war periods”.

### REFERENCES

- [1] Л. Є. Шкіца, «Трансформація гірничих комплексів після завершення експлуатації», *Вісник КДПУ*, № 2 (37), с. 113-115, 2006.

- [2] В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, «Виснаження природних ресурсів і забруднення довкілля як єдиний процес», *Семінар "Сталий розвиток - погляд у майбутнє": збірник матеріалів до 60-річчя доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри екології та збалансованого природокористування, заслуженого діяча науки і техніки України Мирослава Мальованого*, 15 вересня 2017 р., с. 30.
- [3] В. С. Білецький, *Гірничий енциклопедичний словник : у 3 т., т. 3*, Б. В.С., Ред., Дніпропетровськ: Східний видавничий дім, 752 с., 2004.
- [4] V. D. Pohrebennyk and E. A. Dzhumelia, «Environmental hazards of the mining and chemical enterprises territory», *Екологічна безпека та природокористування: збірник наукових праць*, № 1 (29), с. 40-53, 2019.
- [5] Я. О. Адаменко та ін., *Екологічна безпека територій: колективна монографія*, Івано-Франківськ: Голіней, 361 с., 2014.
- [6] Г. Рудько, *Техногенно-екологічна безпека геологічного середовища (наукові та методичні основи)*, Львів: ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 360 с., 2001.
- [7] Г. І. Рудько та Л. М. Консевич, *Моніторинг процесонебезпечних територій та розрахунок ризику техноприродних аварій і катастроф*, Київ: Знання, 1998.
- [8] Г. І. Рудько, Є. А. Іванов та І. П. Ковальчук, *Гірничопромислові геосистеми Західного регіону України: монографія у 2 томах*, Київ-Чернівці: Букрек, 2019.
- [9] А. І. Горова та Л. В. Височин, «Розробка методів оцінки та прогнозування екологічних ризиків у гірничодобувних регіонах», *Forum of Mining Engineers. International Scientific And Technical Conference*, с. 200-204, 2014.
- [10] О. В. Пластовець та О. В. Луньова, «Рекультивация земель, зайнятих відходами збагачення», *Екологічні проблеми паливно-енергетичного комплексу*, № 2, с. 22-25, 2011.
- [11] Є. Іванов, В. Біланюк, Б. Ваньо, і П. Войтків, *Підходи до дослідження станів і функціонування гірничопромислових територій*. 2023.
- [12] Є. Іванов, І. Ковальчук, «Конструктивно-географічні засади складання кадастру гірничопромислових територій», 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.18827.13600
- [13] Y. A. Ivanov, V. I. Bilanyuk, і Y. Y. Tykhanovych, «Scientific principles of guaranteeing environmental safety in areas of mineral extraction», *Publishing House "Baltija Publishing"*, Бер 2023, Дата звернення: 01, Травень 2024. [Online]. URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/view/302/8390/17520-1>
- [14] E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, «Remote environmental monitoring of the mining and chemical enterprise territory at the stage of liquidation», in *9th International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, November 21-23, 2019, pp. 217-219.
- [15] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Екологічний аспект створення стабільної території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка",» в *Агроекологічні, соціальні та економічні аспекти створення й ефективного функціонування екологічно стабільних територій: колективна монографія*, Ч. Т. Л. О. Писаренко П.В., Ред., Полтава, Сімон, с. 56-66, 2016.
- [16] Y. I. Muravyov and I. S. Belyuchenko, "Impact of chemical production wastes on pollution of surrounding landscapes," *North Cauc. Ecol. Her.*, no. 3, pp. 77-86, 2007.
- [17] V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, «The methodology for design of informational and analytical system for environmental monitoring of mining and chemical enterprise in the liquidation», *Environmental Problems*, т. Vol. 2, № №4, pp. 215-220, 2017.
- [18] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Засади створення геоінформаційних систем моніторингу територій гірничо-хімічних підприємств», *Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*, т. 29, № 7, с. 115-119, 2019.
- [19] V. Pohrebennyk, A. Klos-Witkowska, O. Mitryasova and E. Dzhumelia, «The role of monitoring the territory of industrial mining and chemical complexes at the stage of liquidation», *17th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2017*, pp. 383-398, 2017.
- [20] Z. Dobosh, I. Yankovska, і S. Pidtserkovna, «On international environmental security: modern dimensions and principles of implementation», *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Series: Legal Sciences*, p. 391, 2023.
- [21] A. Kipāne and A. Vilks, 'Legal Framework for Environmental Protection in the Context of Sustainable Development', *European Journal of Sustainable Development*, vol. 11, p. 169, Oct. 2022, doi: 10.14207/ejsd.2022.v11n4p169.
- [22] V. Pohrebennyk, P. Koszelnik, O. Mitryasova, E. Dzhumelia and M. Zdeb, "Environmental monitoring of soils of post-industrial mining areas," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20, no. 9, pp. 53-61, 2019.

# Зміна концентрації цинку в ґрунтах при наближенні до полігону ТПВ в с. Тішне Закарпатської області

Олег Березюк, Михайло Лемешев

*Вінницький національний технічний університет  
м. Вінниця, Україна*

## I. ВСТУП

Негативний вплив на стан охорони здоров'я людини та навколишнього природного середовища становлять тверді побутові відходи (ТПВ), які являють собою гетерогенну багатокомпонентну суміш складного морфологічного складу, на відміну від будівельних [1, 2] чи промислових [3] відходів, які порівняно легко підлягають переробці. Основна частина ТПВ на теренах України, станом на початок 2022 р., захоронюється на 5969 полігонах та сміттєзвалищах, які займають площу 8816 га та лише частково переробляються або утилізуються на сміттєспалювальних заводах, на відміну від високорозвинутих країн ЄС, відомих широким застосуванням сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ. Лише за період 1999-2014 рр. майже в 2 рази зросла площа перевантажених та більше ніж в 3 рази тих полігонів і сміттєзвалищ, які порушують норми екологічної безпеки, загрожуючи забрудненням навколишнього природного середовища (повітря, води та ґрунтів), зокрема хімічним забруднення ґрунтів важкими металами, таких як цинк, що спричиняє захворювання живих організмів [4], забруднення прилеглих земельних наділів [5], в тому числі й сільськогосподарського призначення. Тому з метою запобігання зростанню темпів зростання площ полігонів і сміттєзвалищ та їхнього негативного впливу на навколишнє природне середовище сміттєвози під час завантаження виконують технологічну операцію ущільнення ТПВ в своєму кузові [6, 7]. Подрібнення та зневоднення ТПВ [8] також сприятимуть зменшенню темпів зростання площ полігонів і сміттєзвалищ.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У статті [9] запропоновано прогнозування об'ємів утворення ТПВ та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні побудованими математичними моделями, які дозволили встановити, що загальна площа полігонів та сміттєзвалищ, а також тих, що не відповідають нормам екобезпеки збільшується з часом приблизно за експоненціальною закономірністю, а площа перевантажених полігонів та сміттєзвалищ, як тих, що відповідають, так і тих, що не відповідають нормам екобезпеки зростає щорічно майже лінійно. З метою зменшення темпів зростання площ полігонів виконується технологічна операція ущільнення ТПВ під час завантаження у кузов сміттєвоза [6, 7]. Високий коефіцієнт ущільнення ТПВ сприяє більш ефективному використанню площі полігона захоронення [10].

У дослідженні [11] встановлено вплив збільшення концентрації важких металів на зменшення врожайності рослин сільськогосподарського призначення завдяки властивостям важких металів сповільняти розвиток вегетативних та репродуктивних функцій рослин. Забруднення важкими металами ґрунтів через захоронення ТПВ досліджено в роботі [12]. В статті [13] наведені дані щодо впливу на мікробіоценоз дерново-слабопідзолистого ґрунту важких металів.

У матеріалах роботи [14] проведено огляд найбільш поширених методів ремедіації важких металів в ґрунті. В матеріалах статті [15] наведено дані щодо питомих затрат електроенергії на зменшення концентрацій таких важких металів, як кадмій, свинець та цинк,

в ґрунті полігонів ТПВ методом електрохімічної ремедіації. В статті [16] визначено регресійну залежність питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення такими важкими металами, як кадмій, свинець та цинк, від їхніх фактичних та граничнодопустимих концентрацій. В роботі [17] запропонована удосконалена математична модель питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення важкими металами від концентрацій кобальту, міді, нікелю, хрому, ванадію та марганцю.

У статті [18] акцентується увага на тому, що полігон ТПВ може бути причиною погіршення якості питних вод та санітарно-гігієнічного стану ґрунтів на прилеглих сільськогосподарських територіях. В матеріалах роботи [19] визначено адекватну регресійну степеневу залежність концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігонів твердих побутових відходів, яку застосовано для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня хімічного забруднення нафтопродуктами ґрунтів.

В статті [20] зазначено, що забруднення свинцем ґрунтів виникають як наслідок виробництва свинцевих акумуляторних батарей, утворення, накопичення та переробки їхніх відходів, а також при використанні в якості моторного мастила етилованого бензину. В роботі [21] зазначено, що переважна кількість водорозчинних сполук свинцю при надходженні в ґрунт закріплюються у ньому і переходять у нерозчинний стан.

У статті [22] проведено дослідження хімічного складу ґрунтів території полігону ТПВ с. Тішне Міжгірського району Закарпатської області, зокрема наведено рівень забрудненості цинком на різних відстанях від полігону.

В статті [23] наведена хімічна характеристика ґрунтів території полігону ТПВ с. Сенча Лохвицького району Полтавської області, зокрема рівень забрудненості свинцем на різних відстанях від полігону, на основі чого в роботі [24] запропоновано степеневу залежність концентрації свинцю в ґрунтах від відстані до цього полігону.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У таблиці 1 наведені концентрації цинку в ґрунтах полігону ТПВ с. Тішне Міжгірського району Закарпатської області, отримані за допомогою атомно-абсорбційного методу [22].

Таблиця 1 – Концентрації цинку в ґрунтах полігону ТПВ с. Тішне Закарпатської області [22]

|                                    |     |     |     |     |      |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| Відстань від полігону, ТПВ, м      | 0   | 100 | 200 | 500 | 5500 |
| Концентрація цинку в ґрунті, мг/кг | 9,7 | 8,9 | 5,8 | 3,4 | 2,9  |

На основі даних таблиці 1 методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz" [25], що захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір, і детально описана в роботі [26] можна отримати парну регресійну залежність концентрації цинку в ґрунтах від відстані від полігону твердих побутових відходів с. Тішне Закарпатської області, що обумовлює проведення подальших досліджень.

### IV. ВИСНОВКИ

Наведено дані щодо концентрації цинку в ґрунтах навколо полігонів твердих побутових відходів, на основі яких можна отримати парну регресійну залежність концентрації цинку в ґрунтах від відстані від полігону твердих побутових відходів с. Тішне Закарпатської області, що обумовлює проведення подальших досліджень.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] М. С. Лемешев, «Будівельні вироби з використанням промислових відходів Вінниччини», *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, № 41, с. 123-127, 2017.

- [2] В. П. Ковальський, та А. В. Бондарь, «Шламосолокарбонатний прес-бетон на основі відходів промисловості», на *XXIV міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*, Харків, 2015, с. 209.
- [3] V. Ishchenko, V. Pohrebennyk, A. Kochanek, and G. Przydatek, «Comparative environmental analysis of waste processing methods in paper recycling», in *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, SGEM, No 17 (51), 2017, pp. 227-234.
- [4] Р. П. Піскун, та С. М. Горбатюк, «Функціональна морфологія головного мозку при атеросклерозі в експерименті та під впливом вінпоцетину», *Таврійський медико-біологічний вісник*, Т. 9, № 3, с. 100-113, 2006.
- [5] О. В. Березюк, «Моделювання компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі на основі комп'ютерної програми "PlanExp"», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 23-28, 2016.
- [6] О. В. Березюк, «Планування багатофакторного експерименту для дослідження вібраційного гідроприводу ущільнення твердих побутових відходів», *Вібрації в техніці та технологіях*, № 3 (55), с. 92-97, 2009.
- [7] О. В. Березюк, «Вплив основних параметрів вібраційного гідроприводу на показники вібрації в процесі ущільнення твердих побутових відходів», *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій*, № 8, с. 380-387, 2009.
- [8] О. В. Березюк, «Експериментальне дослідження процесу подрібнення твердих побутових відходів під час зневоднення шнековим пресом», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 75-80, 2019.
- [9] О. В. Березюк, «Математичне моделювання прогнозування об'ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні», *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*, № 2, с. 88-91, 2009.
- [10] О. В. Березюк, «Числове дослідження удосконаленої математичної моделі вібраційного гідроприводу ущільнення ТПВ у сміттєвозі на основі використання інформаційних технологій», на *II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. студ., асп. та молод. вчених Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні*, Херсон, 2019, с. 290-293.
- [11] C. Rauta, and S. Carstea, «Some aspects of soil pollution research in Romania», in *Transaction of 13 Congress of Intern. Soc. Soil.*, No 2, p. 376-377, 1986.
- [12] F. Ayari, H. Hamdi, N. Jedidi, N. Gharbi, and R. Kossai, «Heavy metal distribution in soil and plant in municipal solid waste compost amended plots», *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, No 7 (3), p. 465-472, 2010.
- [13] Н. М. Гринчишин, та Т. М. Лозовицька, «Вплив важких металів на мікробіоценоз дерново-слабопідзолистого ґрунту», *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гєжицького*, Т. 11, № 2(41), Ч. 4, с. 54-57. 2009.
- [14] S. Nanda, and J. Abraham, «Remediation of heavy metal contaminated soil», *African Journal of Biotechnology*, Vol. 12(21), p. 3099-3109. 2013.
- [15] N. A. Mishchuk, and L. L. Lysenko, «Hydrodynamic method for regulating ph during electrical purification of natural disperse systems from heavy metals», *Colloid Journal*, Vol. 71, No 1, p. 88-96. 2009.
- [16] О. В. Березюк, «Моделювання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами», *Комунальне господарство міст*, № 1 (120), с. 240-242, 2015.
- [17] О. В. Березюк, «Удосконалення математичної моделі питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами», на *II міжнар. наук.-практ. конф. Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи*, Львів, 2015, с. 185-187.
- [18] Н. А. Макаренко, та О. О. Будак, «Вплив полігонів твердих побутових відходів на прилеглі сільські території», *Таврійський науковий вісник*, № 93, с. 227-233, 2015.
- [19] О. В. Березюк, «Регресійний аналіз концентрації нафтопродуктів в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів», *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, № 3, 6 с., 2022.
- [20] В. Т. Агапова, та О. В. Золотько, «Оцінка ризиків для здоров'я населення внаслідок емісії свинцю від антропогенних джерел», *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*, № 42, с. 29-34, 2012.
- [21] А. С. Шолохова, та В. П. Михайленко, «Забруднення ґрунтів геоекосистеми Тульчинського полігону ТПВ та перспективи їх ремедіації», на *XX Міжнар. наук.-практ. конф. Екологія. Людина. Суспільство*, Київ, 2019, с. 87-88.
- [22] С. В. Делеган-Кокайко, Г. О. Слабкий, В. В. Лук'янова, та Є. С. Анпілова, «Вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб», *Екологічна безпека та природокористування*, № 2 (34), с. 43-52, 2020.
- [23] П. В. Писаренко, М. С. Самойлік, М. А. Галицька, та Ю. А. Цьова, «Типологізація техногенно порушених земель, які знаходяться під звалищами твердих побутових відходів, з урахуванням локальних особливостей», *Аграрні інновації*, № 13, с. 113-120, 2022.
- [24] О. В. Березюк, М. С. Лемешев, та І. Н. Дудар, «Регресійний аналіз концентрації свинцю в ґрунтах на відстані від полігонів твердих побутових відходів», *Наукові праці ВНТУ*, № 4, 6 с., 2022.
- [25] О. В. Березюк, «Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz")», *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486*, К.: ДСІВУ, дата реєстрації: 03.06.2013.
- [26] О. В. Березюк, «Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz"», *Вісник ВПІ*, № 1, с. 40-45, 2014.

СЕКЦІЯ 2



# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

# Розробка додатку для голосового управління комп'ютером на основі RNNLM моделі

Микола Пікуляк, Іван Фединяк

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I. ВСТУП

В умовах сучасного світу більшість людей використовують комп'ютер для найрізноманітніших цілей, починаючи від навчання та завершуючи вирішенням повсякденних потреб. При цьому стандартними засобами керування пристроєм є клавіатура, мишка або сенсор. В даному випадку під управлінням розуміється фізичне натискання клавіш та рух. Проте існують і інші способи взаємодії, найбільш інтуїтивними з них є звуковий та візуальний, які цілком можуть бути застосовані для керування за наявності камери та мікрофона відповідно.

Голосове управління комп'ютером спрощує взаємодію людини з сучасними пристроями, роблячи її більш доступною та інтуїтивно зрозумілою. Це в свою чергу дозволяє підвищити продуктивність користувача, оскільки він може легше та швидше виконувати різноманітні завдання.

Ще однією важливою перевагою голосового керування є його корисність для людей з обмеженими можливостями. Для таких людей голосове управління може бути важливим інструментом, який дозволяє їм ефективно користуватися комп'ютером.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Голосове управління є найбільш ефективною альтернативою клавіатури та мишки, яке дозволяє на основі розпізнавання мовлення для розуміння голосових команд і відповідей на запитання реалізувати інтерактивну взаємодію людини з відповідними пристроями.

Для створення сервісів розпізнавання мови необхідно виконати досить складну діагностику голосу. На сьогоднішній день відомі багато алгоритмів для голосової обробки, які побудовані на перетині лінгвістики, математики, інформатики та з використанням штучного інтелекту.

Серед найбільш відомих алгоритмів розпізнавання мовлення виділяють наступні [1]:

1) алгоритм динамічної трансформації часової шкали – в основі лежить метод, який обчислює оптимальний збіг між двома заданими послідовностями; при цьому під оптимальним збігом розуміють мінімальну різницю між значеннями вимірюваних одиниць;

2) прихована марківська модель – статистична модель, що використовується для моделювання найбільш ймовірних послідовностей станів системи на основі проведених спостережень;

3) нейронні мережі – тип штучного інтелекту, що використовується для обробки послідовностей даних, таких як текст, мова або сигнали.

Сьогодні розроблено чимало голосових асистентів від таких відомих компаній як Google, Amazon, Apple, Microsoft, це зокрема Alexa, Siri, Cortana, Google Assistant. Серед програм для голосового керування виділяють Speaker, TUPLE, Laitis та інші [2].

Мета роботи: розробка додатку голосового управління комп'ютером на основі використання нейронної мережі з підтримкою української мови, який дозволить спростити керування та автоматизацію рутинних процесів з можливістю створення та налаштування команд.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Основою додатку є моделі для розпізнавання мовлення та ключового слова. Для розпізнавання мовлення використано RNNLM [3] – Recurrent Neural Network Language Model. Перевагою застосування цієї моделі є її здатність добре розпізнавати часто вживані послідовності слів, що відмінно підходить для надання голосових команд у розмовному стилі. Для розпізнавання ключового слова використано менш «ресурсоємну» модель. Принцип її роботи полягає в тому, що вона не намагається конвертувати звуки в слова, адже їй тільки потрібно визначити чи була звукова хвиля, яка відповідає певному ключовому слову в заданому відрізку часу. Тобто порівнюється саме звук. Такий підхід дозволяє значно економити ресурси комп'ютера та покращити швидкодію розпізнавання мовлення. З цього також випливає, що ключове слово може бути і не словом зовсім, а просто певним звуком як, наприклад, плеск в долоні.

Для програмної розробки проекту обрано мову програмування Python та середовище розробки PyCharm.

Загальна діаграма взаємодії основних модулів додатку представлена на рис. 1:

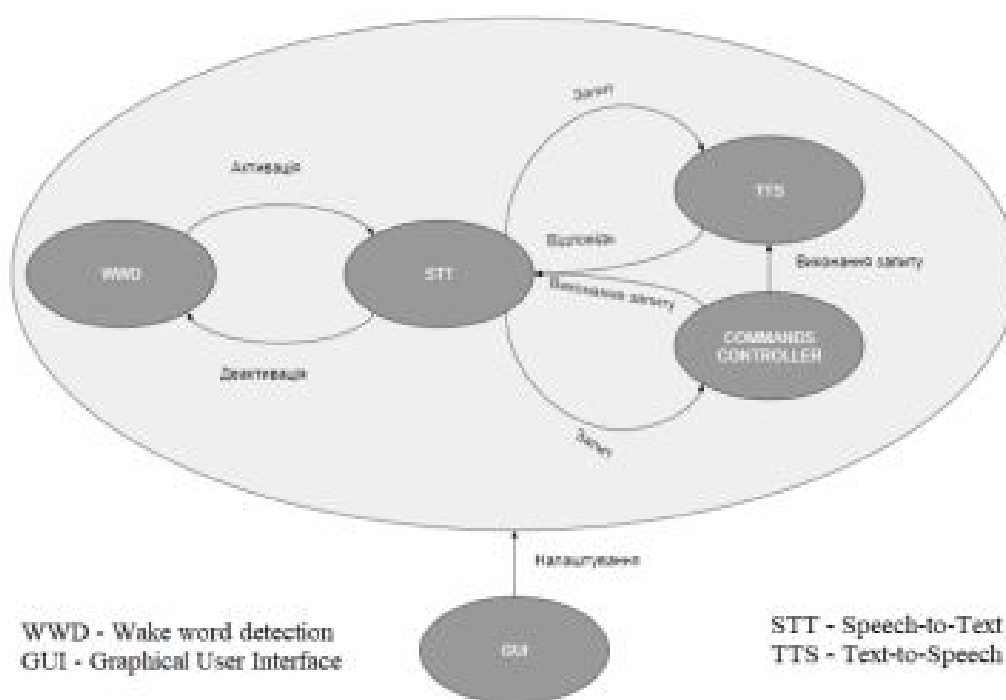


Рисунок 1 – Діаграма взаємодії основних модулів програми

Голосовий потік, який надходить на мікрофон аналізує модуль WWD [4]. Якщо WWD надає позитивну відповідь щодо наявності ключового слова в надісланому аудіопотоці, то відбувається активація STT [5]. Якщо на STT не приходить запит (голосова фраза) за відведений час або вимовлене користувачем словосполучення не є командою – відбувається деактивація та повернення до WWD. Якщо STT розпізнало ключові слова, що відповідають за активацію команди, то відбувається її обробка за допомогою COMMANDS CONTROLLER, який при потребі може використати модуль TTS для надання голосової відповіді користувачу.

GUI призначений для керування командами та різноманітними налаштуваннями як от вибір моделей, пристрої вводу, тема та інше.

На рис. 2 представлено приклад роботи програми, який відображає функціонал керування командами:

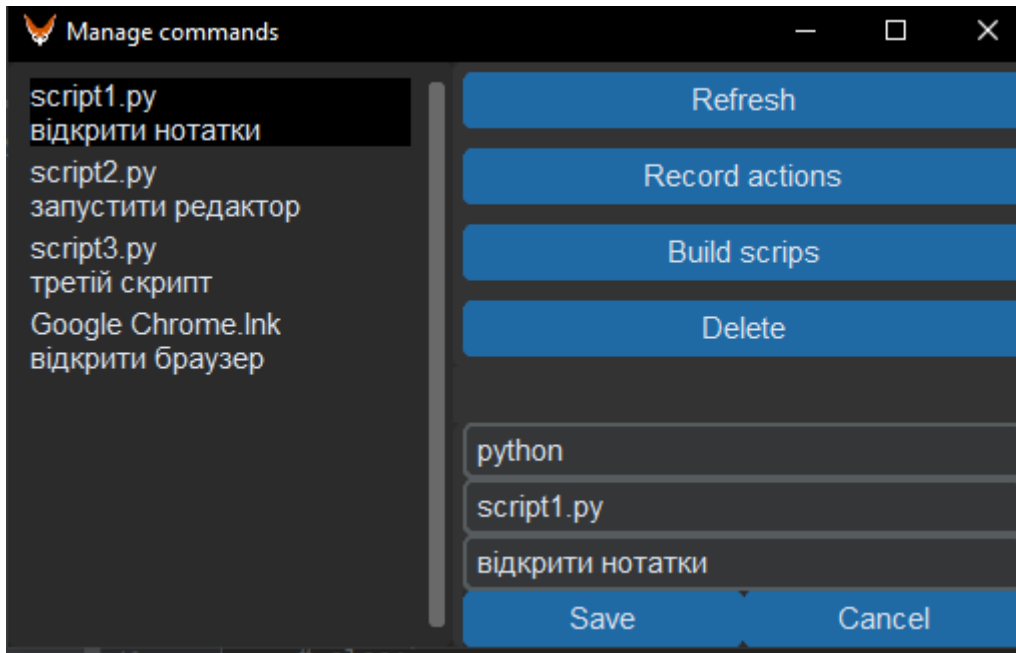


Рисунок 2 – Приклад роботи програми

GUI забезпечує просте керування командами. Кнопка створення скрипту дозволяє записати дії користувача з миші та клавіатури. Після створення скрипту слід прописати ключову фразу за якою запускатиметься команда. При цьому можна додавати вручну уже створені скрипти та задавати параметри їх запуску.

#### IV. ВИСНОВКИ

Запропонований додаток дає змогу автоматизувати рутинні процеси, самостійно додавати необхідні команди та покращити досвід користування персональним комп'ютером. Для реалізації було використано метод нейронних мереж на основі RNNLM моделі, застосування якої дозволяє збільшити якість розпізнавання мовленевих словосполучень та підвищити ефективність роботи додатку з використанням розроблених команд управління голосовим потоком. З огляду на зростаючу популярність альтернативних способів управління пристроями, цей додаток є актуальним й має потенціал для розширення своїх функцій у майбутньому.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] М. О. Агарков, Д. В. Сумцов "Застосування технологій розпізнавання мови в розробці програмного забезпечення», " 23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 6. Харків: ХНУРЕ. 2019, с. 153.
- [2] Popular voice assistant usage statistic. Доступно: <https://www.yaguara.co/voice-search-statistics/> – (дата звернення: 05.04.2024).
- [3] Dong Yu, Li Deng. *Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach*. Springer London, 2016. 321 p.
- [4] Wake word detection and its application. Доступно: <https://jscholarship.library.jhu.edu/items/e3dbcebd-4086-4cbd-aa7c-7ad191ff4158> – (дата звернення: 22.04.2024).
- [5] Text-to-speech and Speech-to-text definition. Доступно: <https://elevenlabs.io/blog/text-to-speech-vs-speech-to-text/> – (дата звернення: 22.04.2024).

# Дослідження використання веб-форуму для підвищення якості організації освітнього процесу у закладі вищої освіти

Микола Пікуляк, Ярослав Кузик

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I. ВСТУП

У зв'язку з інтенсивним розвитком інформаційних технологій та доступністю інтернету сучасні студенти та викладачі мають унікальні можливості для самоосвіти на основі використання різноманітних програм, сервісів та додатків. Постійно відбувається цифровізація освітнього процесу та системи університетського менеджменту, що дозволяє підвищити ефективність управління за рахунок автоматизації різних сфер діяльності закладу вищої освіти (ЗВО) та надає можливість користувачам використовувати потужні електронні платформи для отримання нових знань та формування професійних навичок [1].

Одним із популярних інструментів інформатизації сучасної освіти виступають веб-форуми, які являють собою ресурси, що забезпечують можливість обміну ідеями та думками між його учасниками. Завдяки використанню доступного та зрозумілого для сприйняття інтерфейсу, мобільності та доступності вони стали незамінним джерелом та носієм інформації сучасної людини, надаючи користувачам зручну платформу як для висловлення своїх думок стосовно будь-якої теми, так і для викладачів, студентів та дослідників для пошуку відповідей на актуальні питання з різних наукових напрямків.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Незважаючи на те, що веб-форуми були створені ще на початку розвитку інтернету, проте вони й досі користуються популярністю та посідають одні з найвищих рейтингових сходинок серед найбільш відвідуваних сайтів світу. Згідно з даними аналітичного ресурсу [datereportal.com](http://datereportal.com), найбільш рейтинговими на даний час вважаються наступні форуми [2]:

- Reddit – охоплює близько 330 мільйонів відвідувачів щомісяця та до 57 мільйонів унікальних активних відвідувачів щодня;

- Quora – онлайн-форум для підвищення рівня знань програмістів та інших спеціалістів у галузі комп'ютерних наук, з оцінкою приблизно 300 мільйонів користувачів;

- Stack Overflow – онлайн-форум, на якому постійно ведуться дискусії стосовно різних напрямків програмування із залученням висококваліфікованих експертів.

В Україні найбільш відомий Освіта.ua – освітянський форум, який надає можливість отримання відповідей стосовно питань освіти та навчання як в Україні, так і за кордоном.

На основі проведеного аналізу функціональності відомих форумів було встановлено, що, незважаючи на ряд позитивних сторін кожного з них (наприклад, створення тематичних форумів, можливість фільтрування публікацій, багатомовне розширення, наявність числової аналітики переглядів та дописів), головним недоліком є відсутність якісного параметра оцінки кожної дискусії, на основі якого можна визначити якісну характеристику зацікавленості користувачами відповідною тематикою.

Тому, розробка нових типів веб-платформ, які б дозволяли використати переваги відомих сервісів та усунути недоліки з метою більш якісного їх використання є актуальною науково-прикладною задачею.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Веб-форум є видом віртуального навчального середовища, інформаційне наповнення якого складається з множини форумів, множини дискусій та множини повідомлень.

Представимо структуру платформи веб-форуму в такому вигляді:

$$\text{Forum}_i = \langle \text{ForumName}_i, \text{CreatedBy}_i, \text{Content}(\text{Forum}_i) \rangle,$$

де  $\text{ForumName}_i$  – назва окремого форуму для обговорення (теми);  $\text{CreatedBy}_i$  – учасник форуму, що створив дане обговорення та слідкує за ним;  $\text{Content}(\text{Forum}_i)$  – вміст обговорення.

Інформаційне наповнення обговорення форуму подамо так:

$$\text{Content}(\text{Forum}_i) = \langle \text{Forum}(\text{Forum}_i), \text{Topic}(\text{Forum}_i) \rangle,$$

де  $\text{Forum}(\text{Forum}_i)$  – множина форумів нижчого рівня, що належать до форуму  $\text{Forum}_i$ ;  $\text{Topic}(\text{Forum}_i)$  – множина дискусій, які належать до форуму  $\text{Forum}_i$ ;

Дискусія – одна з ключових частин форуму, що може бути створена адміністратором чи іншим зареєстрованим користувачем. Це сукупність повідомлень, які пов'язані однією темою та впорядковані у хронологічній послідовності

$$\text{Topic}_i = \langle \text{TopicName}_i, \text{TopicAuthor}_i, \text{TopicDate}_i, \text{Post}(\text{Topic}_i), K_i \rangle,$$

де  $\text{TopicName}_i$  – назва дискусії;  $\text{TopicAuthor}_i$  – автор дискусії, також є його учасником,  $\text{TopicDate}_i$  – дата створення дискусії,  $\text{Post}(\text{Topic}_i) = \{ \text{Post}_{k_j}^{(PT_i)} \}_{j=1}^{N(PT_i)}$  – множина публікацій, що належать до дискусії  $\text{Topic}_i$ ;  $\{ k_j^{(PT_i)} \}_{j=1}^{N(PT_i)}$  – множина номерів публікацій;  $N(PT_i)$  – кількість публікацій у дискусії  $\text{Topic}_i$ ;

$$K_i = \frac{H_i}{t} \text{ – параметр активності дискусії } \text{Topic}_i,$$

де  $H_i$  – індекс Гірша дискусії  $\text{Topic}_i$ ;

$t$  – час, протягом якого відбувається оцінка параметра активності.

Позначимо через  $N_i^{(PostAutors_j)}$  – к-ть публікацій  $j$ -го автора в  $i$ -й дискусії;

$\{m\} = \{ N_i^{(PostAutors_j)} \}$  – множина, кожен елемент якої вказує на к-ть публікацій  $j$ -го автора в  $i$ -й дискусії.

Тоді алгоритм визначення індексу Гірша  $H_i$  для  $i$ -ї дискусії буде мати вигляд (рис. 1):

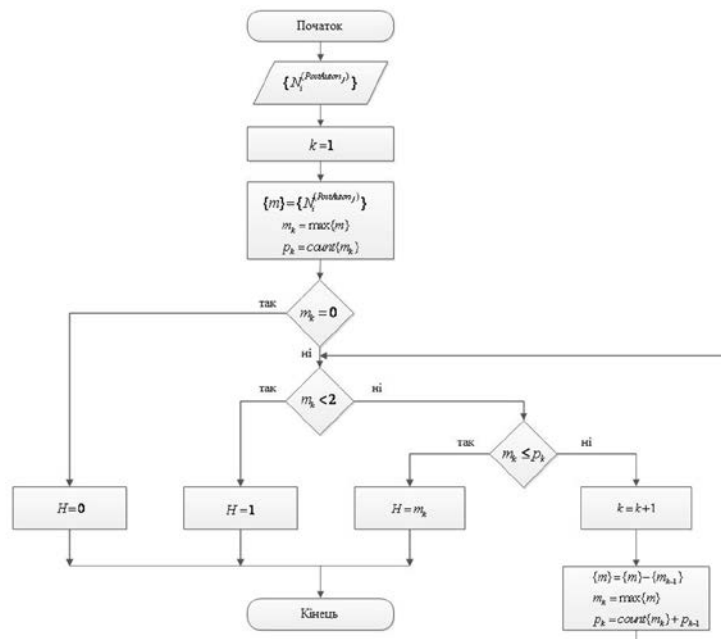


Рисунок 1 – Алгоритм визначення індексу Гірша для дискусії

На основі описаної математичної моделі веб-форуму та представленого алгоритму побудована програмна реалізація веб-застосунку, яку виконано з використанням ряду сучасних технологій розробки та хмарних сервісів.

Зокрема, фронтенд частину сервісу було реалізовано за допомогою фреймворку Bootstrap, що є потужним інструментом для створення користувацького інтерфейсу.

На бекенді додатку було використано Asp.NET MVC, надійний і гнучкий фреймворк для створення веб-застосунків, що працює на .NET. MVC та є шаблоном проектування, який розділяє логіку додатку на три основних компоненти: модель (Model), представлення (View) та контролер (Controller). Така архітектура забезпечує вбудовану підтримку масштабування, що дозволяє розширювати форум зі зростанням обсягу користувачів і запитів та сприяє поділу функціональності на окремі компоненти, що полегшує розробку, тестування та підтримку проекту [3].

Запропонований веб-сервіс був успішно програмно реалізований та пройшов етап тестування для організації освітнього процесу та наукової діяльності викладачами та студентами Прикарпатського національного університету. Завдяки залученню до обговорення все ширшого кола користувачів як зі сторони викладачів, так і студентської спільноти, за порівняно невеликий термін використання (6 місяців) на сторінках додатку було висвітлено та прокоментовано ряд важливих тем з області програмування, проблем дистанційної освіти, проходження студентами навчальної та виробничої практик, пошуку місця працевлаштування та ряд інших.

Підсумком впровадження запропонованого сервісу стало не тільки підвищення рівня знань студентів та активізація наукової співпраці викладачів, але і отримані конкретні практичні результати використання форуму, що свідчить про зростання якості освітнього процесу.

#### IV. ВИСНОВКИ

Виконано побудову математичної моделі веб-форуму та програмно реалізовано застосунок із використанням сучасних підходів до розробки програмного забезпечення за допомогою оптимізованої архітектури MVC, що дозволило спростити процес створення сервісу шляхом розподілу обов'язків між модулями програми та полегшити тестування та підтримку сервісу.

Наукова новизна полягає в розробці методу оцінки корисності дискусій у веб-форумі на основі введення нового інформативного параметра якості з використанням індексу Гірша, використання якого дозволило розширити обмеження щодо кількісної аналітики обговорень та відгуків у відомих сервісах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці віртуального навчального інструменту, який дає можливість підвищити якість надання освітніх послуг у закладі вищої освіти.

#### ЛІТЕРАТУРА

[1] M. V. Pikuliak, M. V. Kuz, O. D. Voroshchuk, "Improvement of information technology of distance education system construction with the use of hybrid learning algorithm, " *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 88, no. 2, pp. 167–185, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v88i2.4434>.

[2] Digital 2020: global digital overview. Доступно: <https://datareportal.com/reports/digital-2020-global-digital-overview?rq=reddit> – (дата звернення: 16.04.2024).

[3] MVC Framework – Introduction Доступно: [https://www.tutorialspoint.com/mvc\\_framework/mvc\\_framework\\_introduction.htm](https://www.tutorialspoint.com/mvc_framework/mvc_framework_introduction.htm) – (дата звернення 08.04.2024).

# Автоматизоване проектування черв'ячного валу екструдера

Валерій Щербина, Ілля Усюк

*КПІ ім. Ігоря Сікорського  
м. Київ, Україна*

## I. ВСТУП

Екструдери знаходять широке застосування у різних галузях промисловості та відіграють важливу роль у виробництві різноманітних продуктів. Основні з них включають: виробництво в харчовій і фармацевтичній промисловості, будівельному секторі та переробці сільськогосподарської продукції. Але найбільш широке розповсюдження вони отримали при виготовленні пластмасових виробів при переробці різних видів полімерів таких як полістирол, полівінілхлорид, поліетилен та інші термореактопластів [1]. В сучасній індустрії велике значення має процес автоматизації етапу проектування, спрощуючи та оптимізуючи процеси створення та використання нових технологічних рішень. Одним з ключових елементів цього процесу є розробка вдосконалених та ефективних конструктивних елементів екструдерів для забезпечення їх високої продуктивності та підвищення якості виготовленої продукції.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У сфері виробництва та переробки пластмас, термопластиків і композитів на основі цих матеріалів екструдери посідають одне з провідних місць серед розповсюдженого технологічного обладнання [1]. Одним із найважливіших складових компонентів екструдера є черв'ячний вал, який виконує перемішування та транспортування сировини під час процесу екструзії. Тому ефективність роботи екструдера значною мірою залежить від конструкції черв'ячного вала [2]. Оптимальна форма, розташування гвинтів, а також розмір та глибина жолобків на валу визначають рівномірність змішування сировини та швидкість її обробки, що впливає на якість кінцевого продукту. Розробка оптимальних конструкцій черв'ячних валів вимагає врахування великої кількості факторів до яких відносяться – форма, матеріал з якого виготовлений вал, вимоги до переміщення, змішування та нагрівання, а також тип екструдера, властивості сировини та кінцевого продукту [3]. Тому метою роботи є розробка програмного забезпечення для автоматизованого проектування черв'ячного валу екструдера, що дозволить спростити процес проектування з забезпеченням високої якості проектів значно зменшивши час на розробку та виконання креслярсько-технічної документації.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

При розробці програм автоматизованого проектування використана система AutoCAD, яка на сьогодні є найбільш розповсюдженою в Україні та світі інженерною системою для автоматизації проектування. Розроблене програмне забезпечення базується на використанні функціональної мови AutoLISP та функцій управління діалоговими вікнами DCL [4, 5], що дає можливість використовувати інтерактивний режим введення даних, значно прискоривши процес розробки проектною документації та здійснювати доступ до графічної бази даних з програмною обробкою текстової та числової інформації [6].

Розроблена система представляє собою багаторівневу віконну структуру, призначену для оперативного введення або корегування параметрів виробу з виконанням креслення в 2D

та 3D форматі. Введення і корегування інформації здійснюється в інтерактивному режимі з використанням діалогового вікна наведеного на рис. 1.

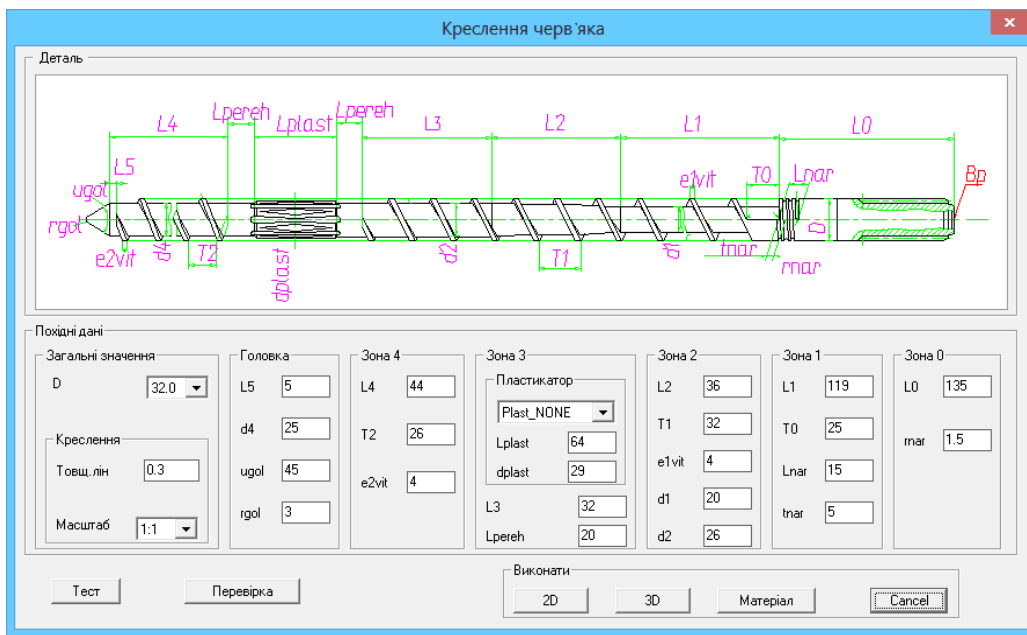


Рисунок 1 – Діалогове вікно введення даних

Діалогове вікно містить схематичне зображення креслення для зручності використання параметризованих значень. Вікно розділене на 7 вертикальних секцій та секції виконання, кожна з яких має свою назву для інтерактивного використання. Передбачені можливості: вказати масштаб виконання креслення черв'яка; встановити всі розміри за типовими значеннями (кнопка “Тест”); виконати перевірку уведених даних (кнопка “Перевірка”); виконати 2D-креслення деталі (кнопка “2D”); виконати 3D конструкцію черв'яка (кнопка “3D”); створити 3D-модель робочого простору руху матеріалу (кнопка “Матеріал”); вихід з меню діалогового вікна та відміна виконання програми (кнопка “Cancel”)

На рис.2 приведений результат виконання креслення черв'ячного валу при уведенні даних для спрощеної конструкції (короткий, з міркувань візуалізації).

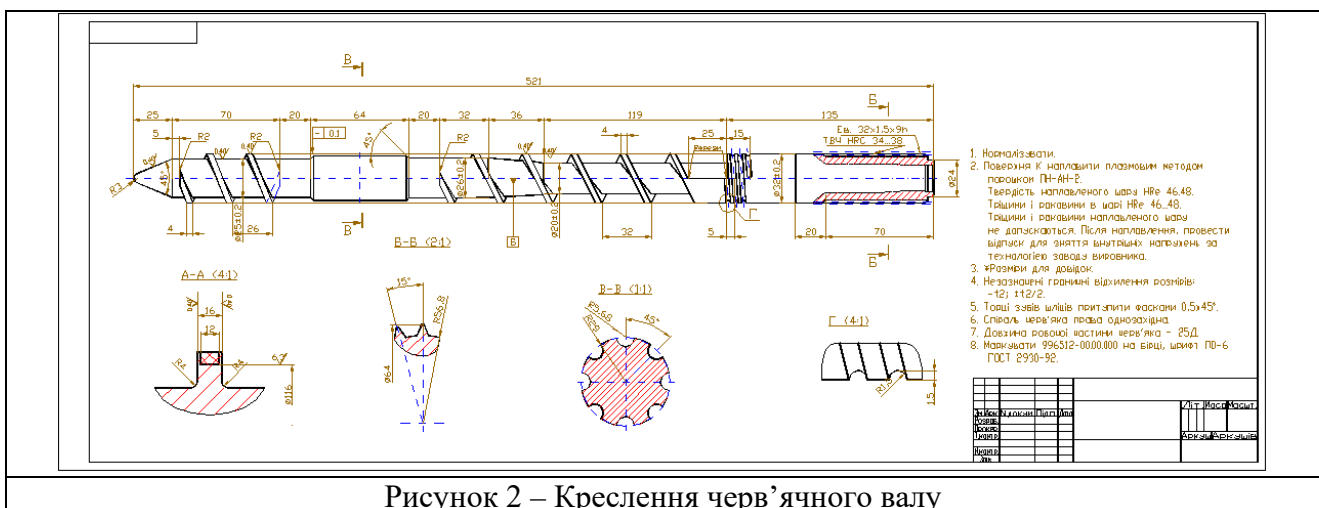


Рисунок 2 – Креслення черв'ячного валу

Для креслення, показаного на рисунку, можливо побудувати 3D конструкцію типу SOLID та 3D модель робочого простору в якому відбувається переміщення матеріалу, що обробляється. По 3D моделям, з допомогою візуального контролю проєктувальник аналізує отриману деталь і при необхідності вносить необхідні зміни в конструкцію. На рис. 3 приведений результат виконання 3D конструкції.

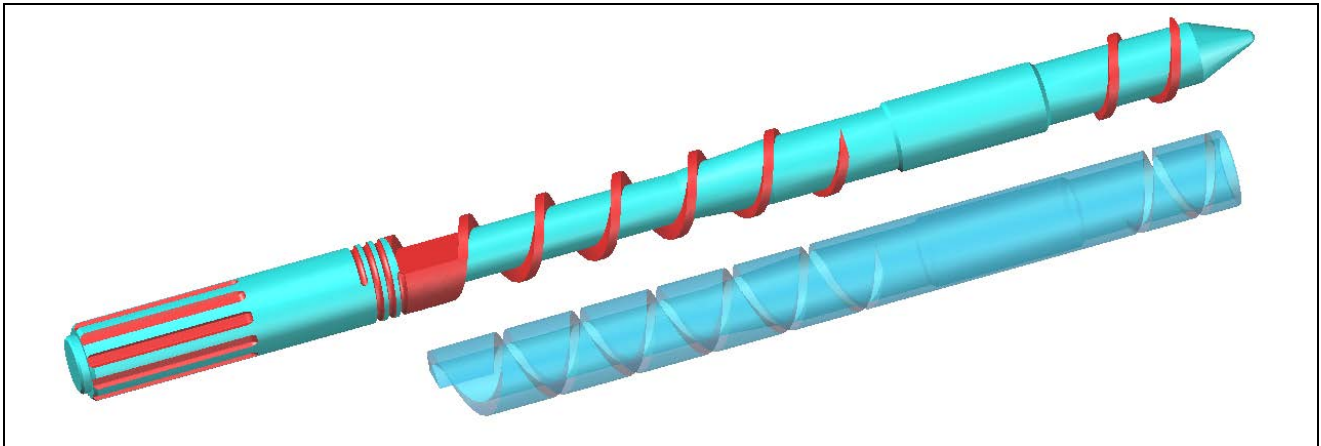


Рисунок 3 – Побудова 3D конструкцій

Потрібно зазначити, що створення 3D конструкцій передбачає не тільки візуальний контроль але також дає можливість використовувати її при розрахунках на міцність та моделюванні руху матеріалу в робочому просторі з допомогою програм ANSYS, FLUENT, CFX та їм подібним. При цьому використовується можливість AutoCAD трансформувати 3D конструкцію в формат  $\langle \rangle$ .sat, який можливо використати у вказаних програмах.

#### IV. ВИСНОВКИ

Створена програма призначена для вдосконалення методів автоматизованого проектування і дозволяє виконувати 2D креслення черв'ячного валу, 3D конструкцію та 3D модель робочого простору переміщення матеріалу для моделювання його реального руху. В програмному забезпеченні застосовується функціональна мова AutoLISP з функціями DCL для середовища AutoCAD, що дає змогу застосовувати інтерактивний режим уведення даних і виконувати контроль значень уведених змінних.

Використання розробленої програми дозволяє значно прискорити та підвищити якість проектної документації в процесі виконанні конструкторських та проектних робіт при розробці нових та модернізації діючих черв'ячних валів. Розкриваються нові можливості для оптимізації процесів проектування та прискорення впровадження нових технічних рішень.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Мікульонок І. О., Сокольський О.Л., Сівецький В.І., Радченко Л.Б., Основи проектування одночерв'ячних екструдерів : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 200 с.
- [2] Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондляр О.В. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. 131с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45734>
- [3] Сівецький В.І., Щербина В.Ю., Гондляр О.В. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Лінії для виготовлення листових і профільних полімерних виробів [Електронний ресурс] – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 113 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>
- [4] Щербина В.Ю., Сахаров О.С., Гондляр О.В., Сівецький В.І., САПР. Програмування на функціональній мові AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 156 с. <https://cpsm.kpi.ua/publikatsiji/knigi/731>
- [5] Щербина В.Ю., Чемерис А.О.; Конструкторське проектування обладнання. Курсовий проект [Електронний ресурс] КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 38 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25664>
- [6] Щербина В.Ю. Конструкторське проектування обладнання. Конспект лекцій [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2018. 83с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25669>

# Пріоритизація показників якості програмного забезпечення відповідно до його класифікації

Євген Берладинюк, Тарас Крюков, Валентина Яковин

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I. Вступ

У контексті швидкого розвитку інформаційні технологій, програмне забезпечення (ПЗ) все більше стає вирішальним елементом у багатьох сферах людської діяльності, зокрема в медицині. Ефективність та безпека пропонованих послуг суттєво залежать від якості програмного забезпечення, що використовується в різноманітних сферах людської діяльності.

Стандарт [1] систематизує основні методи для оцінки якості програмних продуктів, пропонуючи детальний перелік критеріїв для аналізу різноманітних показників якості програмного забезпечення. Проте варто врахувати не пріоритетність деяких показників якості ПЗ, що може вплинути на результат оцінювання.

У цій доповіді запропоновано метод для пріоритизації показників якості програмного забезпечення, що сприяє визначенню найбільш необхідних показників відповідно до деякого типу ПЗ.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В роботі [2] описано спосіб розрахунку ваг, суть якого полягає у побудові матриць для оцінки програмного забезпечення з розставленими пріоритетами. Однак запропонований метод є складним у використанні через потребу складання матриці для кожного програмного забезпечення, що оцінюється.

Метод аналізу ієрархій (МАІ), який розглядається в статті [3], застосовується для визначення пріоритетів вимог до якості системи. Цей метод пропонує структурований підхід до прийняття рішень шляхом розбиття складних рішень на ієрархію більш керованих підпроблем, які аналізуються незалежно шляхом попарних порівнянь. Однак, зі збільшенням кількості елементів через експоненціальне зростання кількості необхідних парних порівнянь метод може стати громіздким та складним у використанні.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Базуючись на наукових дослідженнях [2], [3] було розроблено метод для обчислення вагових коефіцієнтів показників якості програмного забезпечення, який полягає у наступному.

Для кожного показника якості пропонується визначити відповідний пріоритет: високий (В), середній (С) та низький (Н), що в подальшому конвертуються в умовну числову одиницю 3, 2, 1 відповідно.

Визначення пріоритетів відбувається методом експертної оцінки для деякої класифікації типів програмного забезпечення [4] враховуючи такі чинники, як поточний стан законодавства, стандарти та специфікації, нормативні положення, вимоги та рекомендації до програмного забезпечення тощо.

Для розрахунку вагового коефіцієнту для певного показника якості програмного забезпечення використовується формула 1, що визначається як відношення числового значення пріоритету для показника якості до суми числових значень пріоритетів всіх показників. Зазначена формула 1 подана нижче:

$$W_i = \frac{C_i}{\sum_{j=1}^n C_j}, \quad (1)$$

де  $W_i$  - ваговий коефіцієнт показника якості ПЗ,  $C_i, C_j$  - числові значення пріоритетів для параметрів  $i$  та  $j$ ,  $n$  - загальна кількість показників якості ПЗ.

Додатково варто зазначити, що  $n$  з формули 1 – це загальна кількість показників якості програмного забезпечення, що визначені у стандарті [1].

Далі розглянуто приклад пріоритизації програмного забезпечення, що використовується у сфері охорони здоров'я. Згідно з згаданими раніше пріоритетами, “Високий” пріоритет отримали такі показники якості ПЗ, як “Сумніть”, “Надійність”, “Захищеність”, оскільки для такого типу ПЗ критично важливим аспектом є сумісність ПЗ із іншими медичними системами та пристроями, точність результатів, безвідмовність використання та безпека персональних даних пацієнтів та працівників. Такі показники якості як “Функційна повнота”, “Рівень продуктивності”, “Зручність використання”, “Супроводженість” отримали “Середній” пріоритет через помірну важливість. Показник “Мобільність” отримав “Низький” пріоритет, оскільки можливість встановлення ПЗ на різному апаратному забезпеченні не є важливою.

Результати пріоритизації показників якості представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Приклад пріоритизації показників якості розглянутого ПЗ

| Назва показника якості | Пріоритет показника | Конвертована числова репрезентація пріоритету, $C_i$ |
|------------------------|---------------------|--|
| Функційна повнота      | С                   | 2  |
| Рівень продуктивності  | С                   | 2  |
| Сумісність             | В                   | 3  |
| Зручність використання | С                   | 2  |
| Надійність             | В                   | 3  |
| Захищеність            | В                   | 3  |
| Супроводженість        | С                   | 2  |
| Мобільність            | Н                   | 1  |

Визначивши пріоритети для показників якості ПЗ, та скориставшись формулою 1 було розраховано вагові коефіцієнти для відповідних показників. Результати обчислень представлено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати обчислення вагових коефіцієнтів

| Назва показника якості | Ваговий коефіцієнт, $W_i$ |
|------------------------|---------------------------|
| Функційна повнота      | 0.1                       |
| Рівень продуктивності  | 0.1                       |
| Сумісність             | 0.18                      |
| Зручність використання | 0.1                       |
| Надійність             | 0.18                      |
| Захищеність            | 0.18                      |
| Супроводженість        | 0.1                       |
| Мобільність            | 0.06                      |

Для перевірки правильності проведених обчислень можна скористатися формулою 2, яка визначається сумою усіх вагових коефіцієнтів. Якщо результат обчислення дорівнює 1, то розрахунки було проведено правильно. Зазначена формула 2 представлена нижче:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = 1 = const, \quad (2)$$

де  $W_i$  - ваговий коефіцієнт показника якості ПЗ,  $n$  - загальна кількість показників якості ПЗ.

Таким чином, було отримано метод для розрахунків вагових коефіцієнтів для показників якості різних видів програмного забезпечення [4], які в подальшому використовуватимуться для оцінювання якості програмного продукту.

#### IV. ВИСНОВКИ

Результатом цієї роботи є метод для обчислення вагових коефіцієнтів для показників якості різних типів програмного забезпечення. Перевагою розробленого методу є його низька складність, що дає змогу спростити процес обчислення вагових коефіцієнтів потрібних показників якості програмного забезпечення зазначених у стандарті [1].

Подальшим напрямком дослідження може стати аналіз та оптимізація методу оцінювання ПЗ з використанням розроблених вагових коефіцієнтів. Крім того, подальші дослідження можуть бути спрямовані на підвищення точності розрахунку вагових коефіцієнтів шляхом удосконалення методу їх обчислення.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] ДСТУ ISO/IEC 25023:2019. Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем програмних засобів та їхнього оцінювання (SQuaRE). Вимірювання якості систем та програмних продуктів. [Чинний від 2019-11-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 45 с.
- [2] Кузь М.В., Соловко Я.Т., Андрейко В.М. Методологія формування узагальненого критерію якості програмного забезпечення в умовах невизначеності. Вісник Вінницького політехнічного інституту. Вінниця, 2015. №5. С. 104-107.
- [3] Kassab, M., & Kilicay-Ergin, N. (2015). Applying analytical hierarchy process to system quality requirements prioritization. *Innovations in Systems and Software Engineering*, 11(4), 303–312. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11334-015-0260-8>
- [4] Barricelli, B. R., Cassano, F., Fogli, D., & Piccinno, A. (2019). End-user development, end-user programming and end-user software engineering: A systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, 149, 101–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.11.041>

# Метод рейтингування цитованості наукових публікацій на основі Академічного індексу

Микола Кузь, Іван Мостовий, Ігор Полатайко

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
м. Івано-Франківськ, Україна*

Руслан Мішагін

*Лицей імені Романа Шухевича  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I. ВСТУП

В 2005 році американський фізик Хорхе Хірша запропонував новий наукометричний показник для оцінки наукової продуктивності вчених, що базується на запропонованому цим фізиком методі підрахунку і аналізу кількості цитувань публікацій вчених. Цитуючи Хірша [1], даний метод полягає в наступному: «Вчений має індекс  $h$ , якщо  $h$  з його  $N_p$  статей цитуються як мінімум  $h$  раз кожна, в той час як решта  $(N_p - h)$  статей цитуються не більше, ніж  $h$  раз кожна».

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В роботі [2] наводиться порівняльний аналіз методик ранжування науковців на основі індексів Хірша та PageRank. Практичним результатом аналізу, проведеного в цій статті, є можливість застосування цих досліджень для побудови автоматизованих систем, що реалізують різні методики оцінювання цитувань публікацій вчених. Автори публікації [3] зробили висновок про необхідність пошуку нових методів і моделей для більш об'єктивного оцінювання наукових здобутків вчених.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Як видно із аналізу публікацій [2] і [3], індекс Хірша не дає змогу різносторонньо оцінити наукову продуктивність того чи іншого вченого. Це, в першу чергу, зумовлено дискретністю самого індексу.

В даній роботі здійснимо вибірковий порівняльний аналіз визначення індексу Хірша, використовуючи дані авторів з наукометричної бази Academic Index [4], в яких однакове значення індексу Хірша. Результати аналізу відображені в табл. 1.

Таблиця 1 – Аналіз визначення індексу Хірша за даними бази Academic Index

| Автори               | Публікації, в яких кількість цитувань $< h$ | Публікації, в яких кількість цитувань $= h$ | Публікації, в яких кількість цитувань $> h$ | Індекс Хірша |
|----------------------|---|---|---|--------------|
| 1. Tetiana Tkachenko | 24 – по 0 цитувань<br>3 – по 1 цитуванню    | 1 – 2 цитування                             | 1 – 3 цитування                             | 2            |
| 2. Mykola Kuz        | 11 – по 0 цитувань<br>3 – по 1 цитуванню    | 1 – 2 цитування                             | 2 – по 3 цитування                          | 2            |
| 3. Dmytro Bannikov   | 30 – по 0 цитувань<br>2 – по 1 цитуванню    | 1 – 2 цитування                             | 1 – 4 цитування                             | 2            |

В табл. 1 всі автори мають однаковий індекс Хірша: 2. Наукову активність цих авторів можна ранжувати за різними параметрами: за кількістю публікацій, за кількістю цитувань. У першому випадку рейтинг авторів буде наступний:

3 автор  $\rightarrow$  1 автор  $\rightarrow$  2 автор.

У другому випадку –

2 автор  $\rightarrow$  1 автор = 3 автор

(перший і третій автор мають однакову кількість цитувань своїх публікацій). Така неоднозначність не дозволяє побудувати рейтинг наукової продуктивності цих вчених. Нагадаємо, що такий рейтинг можна будувати в межах певної наукометричної бази, так як в різних базах індекси Хірша будуть різними.

Авторами даної роботи запропоновано використовувати для рейтингування наукової продуктивності вчених Академічний індекс  $A$ , який визначається за наступною формулою:

$$A = h + \frac{\sum(x_i > h)}{h + \sum(x_i > h)}, \quad (1)$$

де  $\sum(x_i > h)$  – сума всіх  $i$ -тих цитувань, більших за індекс Хірша.

Таким чином, формула (1) дозволяє врахувати надлишковість цитувань певних публікацій, порівняно з мінімально необхідною кількістю цитувань, потрібною для досягнення певного значення індексу Хірша.

Значення Академічного індексу для наведених в табл. 1 авторів наступне: 1 автор –  $A = 2,6$ ; 2 автор –  $A = 2,75$ ; 3 автор –  $A = 2,67$ . Таким чином, рейтинг авторів, визначений за формулою (1), буде наступний:

2 автор ( $A = 2,75$ )  $\rightarrow$  3 автор ( $A = 2,67$ )  $\rightarrow$  1 автор ( $A = 2,6$ ).

#### IV. ВИСНОВКИ

Академічний індекс, на відміну від індексу Хірша, не є дискретною величиною і дозволяє здійснювати рейтингування цитованості наукових публікацій.

Слід зазначити, що Академічний індекс має дві складові: цифра до коми фактично є індексом Хірша, цифра після коми – рейтингом вчених, що мають однаковий індекс Хірша в певній наукометричній базі.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Розрахунок індекса Хірша. URL: <https://mdpu.org.ua/nauka/na-dopomogu-naukovtsyam/rozrahunok-indeksa-hirsha/> (дата звернення: 30.04.2024).
- [2] Гнатієнко Г., Отецький О. Порівняння методик ранжування науковців на основі індексів Гірша та PageRank: суперечливі ситуації. *Сучасні інформаційні технології*. 2021. № 1(1). С. 39-44. DOI: 10.17721/AIT.2021.1.05.
- [3] Биков В.Ю., Спирін О.М., Білощицький А.О., Кучанський О.Ю., Діхтяренко О.В., Новицький О.В. Відкриті цифрові системи в оцінюванні результатів науково-педагогічних досліджень. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2020. Том 75, №1. С. 294-315.
- [4] Академічний індекс. URL: <https://academicindex.org.ua/> (дата звернення: 30.04.2024).

# Забезпечення якості програмних засобів шляхом використання технології функції розгортання якості

Борис Незамай

*Академія технічних наук України  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I. ВСТУП

У практичній діяльності з розроблення програмного забезпечення найбільшу увагу приділяють тестуванню програмного забезпечення. Контроль якості включає в себе тестування і, відповідно до ISO 9000, це частина менеджменту якості, зосереджена на виконанні вимог щодо оцінки кількості дефектів та помилок (при їх наявності) в продукті. Наступним етапом покращення організації процесів розробки є забезпечення якості.

Забезпечення якості програмних засобів, зокрема, якості під час застосування, для цільового користувача системи є ключовою задачею при розробці програмного забезпечення. Метою забезпечення якості програмних засобів є гарантія того, що продукт буде відповідати вимогам замовника.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Забезпечення якості складається з процесів, спрямованих на досягнення якості розробки продукту на кожному з етапів життєвого циклу. Ці дії, як правило, передують розвитку продукту і тривають, поки процес перебуває в стані розвитку [1, 2].

Якість під час застосування системи характеризує вплив продукту (системи або програмного продукту) на зацікавлені сторони. Його визначають якістю програмних засобів, а також характеристиками користувачів, задач і соціального середовища [3]. Задача забезпечення якості визначається розумінням взаємозв'язків: всередині розроблюваного програмного продукту, життєвого циклу програмного забезпечення, процесів оцінки якості. Пошук згаданих взаємозв'язків, як і встановлення конкретної (під проєкт) функції якості програмного забезпечення є складним та вирішується методами експертних оцінок [4, 5]. Важливим також буде встановлення пріоритетності між характеристиками якості та встановлення граничних характеристик як для аналогічних проєктів, так і для забезпечення якості при розробці конкретного проєкту.

Ефективною методикою для планування та забезпечення якості є методика розгортання функції якості. Розгортання функції якості – це метод структуризації потреб і побажань споживача через розгортання функцій та операцій діяльності із забезпечення на кожному етапі життєвого циклу такої якості, яка б гарантувала отримання кінцевого результату відповідно очікувань споживача [5, 6].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Метод розгортання функції якості працює із матрицями, які дозволяють встановити вагові коефіцієнти важливості для складових частин технічного завдання, при цьому можливі різні варіанти рівнів розгляду [6].

Схему розгортання функції якості на основі бізнес вимог наведено в таблиці 1. По горизонталі розміщено характеристики якості згідно чинних стандартів [3], які можуть бути “розгорнуті” через підхарактеристики до атрибутів якості.

Оцінка бажаних характеристик якості  $p_i$  здійснюється методом експертних оцінок, у клітинках таблиці “будинку якості” експерти проставляють значення  $a_{ij}$ , які відображають вплив кожної вимоги на кожну характеристику якості програмного забезпечення (таблиця 1). Обчислення коефіцієнтів впливу ( $w_j$ ) конкретних бізнес вимог на очікувану характеристику якості здійснюють за формулою зваженого середнього.

Перелік бізнес вимог може бути доповнений нефункціональними вимогами, забезпечення яких може бути визначальним для забезпечення певних характеристик якості [7].

Таблиця 1 – Розгортання функції якості на основі бізнес вимог.

|                    | Бізнес-вимога 1 | Бізнес-вимога 2 | ....     | Бізнес-вимога N |       |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|-------|
| Результативність   | $a_{11}$        |                 |          |                 | $p_1$ |
| Ефективність       |                 |                 |          |                 | $p_2$ |
| Задоволеність      |                 |                 |          |                 |       |
| Свобода від ризику |                 |                 | $a_{ij}$ |                 | $p_i$ |
| Покриття контексту |                 |                 |          |                 |       |
|                    | $w_1$           |                 | $w_j$    |                 |       |

Розгортання функції якості на основі вимог користувача наведено в таблиці 2 і здійснюється шляхом відслідковування відповідності останніх в рамках піраміди вимог [1]. Також в запропонованому підході по вертикалі можна розглядати характеристики хороших вимог [7]. В цьому випадку встановлюють достатність рівня опису вимог для забезпечення необхідного рівня якості під час використання розроблюваного програмного забезпечення.

Таблиця 2 – Розгортання функції якості на основі вимог користувача

|                    | Бізнес-вимога 1        |                        | Бізнес-вимога 2 |  |  | .....    | Бізнес-вимога N |       |
|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------|--|--|----------|-----------------|-------|
|                    | Вимога Користувача 1.1 | Вимога Користувача 1.2 |                 |  |  |          |                 |       |
| Результативність   | $a_{11}$               |                        |                 |  |  |          |                 | $p_1$ |
| Ефективність       |                        |                        |                 |  |  |          |                 | $p_2$ |
| Задоволеність      |                        |                        |                 |  |  |          |                 |       |
| Свобода від ризику |                        |                        |                 |  |  | $a_{ij}$ |                 | $p_i$ |
| Покриття контексту |                        |                        |                 |  |  |          |                 |       |
|                    | $w_1$                  |                        |                 |  |  | $w_j$    |                 |       |

#### IV. ВИСНОВКИ

Розгортання функції якості у вигляді побудови “будинків якості” може забезпечити структурну основу для розуміння та узгодження очікуваних характеристик якості із технічними специфікаціями, проєктними рішеннями при розробці програмного забезпечення.

#### Література

- [1] Ушакова І.О. Методика управління вимогами в гнучких методологіях. *Збірник наукових праць ХНУПС*. 2018. Вип. 2(56). С. 93 – 98.
- [2] Foidl H., Felderer M. Integrating software quality models into risk-based testing. *Software Quality Journal*. 2018. V 26. P. 809 – 847.
- [3] ДСТУ ISO/IEC 25030:2016 (ISO/IEC 25030:2007, IDT) Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Вимоги до якості.
- [4] Засименко В. М., Столярчук П.Г. Загальна концепція складової оцінки якості продукції на основі факторного аналізу. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2002. №59. С. 131– 134.
- [5] Микійчук М. М. Метод розгортання функції якості метрологічного забезпечення виробництва. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Сер. : Автоматика, вимірювання та керування*. 2013. № 753. С. 20-25.
- [6] Sullivan L. P. *Quality Function Deployment. Quality Progress*. June 1986. Pp. 39-50.
- [7] Кузь В. М., Незамай Б. С., Ровінський В. А., Подубинська Н. Д. Прогнозування якості програмних засобів на основі аналізу якості вимог. *Методи та прилади контролю якості*. 2023. № 1 (50). С. 101 – 112.

# Інформаційна система пошуку та купівлі квитків на різні види транспорту

Любомир Демчук, Володимир Грига

*Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника,  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I. ВСТУП

Інформаційна система пошуку та купівлі квитків на різні види транспорту представляє собою – розробку удосконаленої інформаційної системи для продажу квитків на різні види транспорту на основі ОС Android. При розробці даної системи проаналізовано аналогічні системи, програми та додатки, проведено порівняльний аналіз за основними характеристиками та об'єднано їхні сильні сторони та переваги в одному зручному додатку. У світі, де швидкість і зручність є ключовими чинниками, інформаційні системи пошуку та купівлі квитків на різні види транспорту стають невід'ємною частиною нашого повсякденного життя. Ці системи відкривають безліч можливостей для мандрівників, дозволяючи з легкістю планувати свої подорожі, шукати оптимальні маршрути та забезпечувати доступ до квитків з декількох дотримуваних транспортних служб [1-3].

У світі існує безліч аналогів, які успішно використовуються у багатьох розвинутих країнах світу полегшуючи повсякденне життя людей. Але розуміння, що ні одна система не є досконалою, призводить до постійного удосконалення та покращення її роботи. Прагнення до автоматизації та мінімізування втручання людини в роботу системи є одним з основних факторів розвитку.

При розробці такої системи основна увага приділена таким аспектам, як автономність, простота використання, швидкодія, надійність, а також багатофункціональність для конкурування з аналогами.

## II. АНАЛІЗ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ

Практично всі сучасні сайти з продажу квитків на різні види транспорту пропонують приблизно однакові послуги, однак при детальному аналізі їх все-таки можна порівняти за рівнем поставлених завдань.

Попрацювавши з кожним з розглянутих веб-сайтів та додатків було виявлено деякі відмінності у зручності користування та швидкості реакції на необхідні користувачу операції.

Було розглянуті одні із самих популярних аналогів які давно працюють на Українському ринку та ринках Євросоюзу. Їх порівняльну таблицю з усіма перевагами та недоліками можливо переглянути нижче (табл.1).

Якщо немає труднощів з доступом до мережі Інтернет то всі із розглянутих платформ з продажу квитків однаково справляються з відтворенням різного роду композицій або файлів. Значною перевагою Booking.com, Приват24, Укрзалізниця, Busfor та Tickets.ua є можливість завантаження файлів із серверів на диск.

Також цікавим елементом якого немає в жодному з проаналізованих застосунків є наявність QR коду, що дозволить неможливість підробки білету, а також полегшить перевірку при вході у транспорт.

Таблиця 1 – Порівняння розглянутих платформ

| Функції                                | Booking.com | Приват 24 | Укрзалізниця | Busfor  | Tickets.ua |
|--|-------------|-----------|--------------|---------|------------|
| Кросплатформність                      | +           | +         | +            | +       | +          |
| Кросбраузерність                       | +           | +         | +            | +       | +          |
| Режим Offline                          | -           | -         | +            | -       | +          |
| Використання фреймворків при розробці  | -           | -         | +            | +       | +          |
| Використання баз даних                 | +           | +         | +            | +       | +          |
| Використання API                       | +           | -         | +            | +       | +          |
| Можливість завантаження файлів на диск | +           | +         | +            | +       | +          |
| Наявність ліцензії                     | Безкошт.    | Безкошт.  | Безкошт.     | Безкошт | Безкошт.   |
| Країна                                 | Нідерланди  | Україна   | Україна      | Україна | Україна    |

На сьогоднішній день існують три тенденції, що швидко розвиваються в операційних системах (ОС) для мобільних пристроїв. Перший – це Windows Phone 10, операційна система Microsoft, яка ще не набула широкого поширення. Друга — iOS, створена Apple для своїх пристроїв. Третя система — Android, розроблена Google. Він охоплює всі цінові категорії мобільних пристроїв, від бюджетних телефонів до дорогих планшетів. Тому мова йде про Android, як про операційну систему, яка стала найбільш поширеною [2].

Середовищем розробки став Android Studio IDE який є важливим компонентом для розробки додатків для мобільних пристроїв, оскільки стає неможливим збирати та тестувати проекти, використовуючи лише редактори та компілятори.

Для написання системного сервера було використано IntelliJ IDEA - комерційне інтегроване середовище розробки від JetBrains для різних мов програмування (Java, Python, Scala, PHP та ін.) [4].

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Метою проєкту є реалізація інформаційної системи пошуку та купівлі квитків на різні види транспорту. Основним функціональним вузлом є методи призначені для підключення до інтернет з'єднання, передачі GET- та POST- запитів на серверну частину та оброблення відповідей сервера. Даний вузол реалізований бібліотекою Android Spring Library, оскільки дана бібліотека є найбільш сучасною, простою у користуванні та найбільш продуктивною і швидкою в роботі з інтернет під'єднанням. Другим важливим функціональним вузлом розробленого додатку є активності, що відповідають за взаємодію з користувачем, тобто графічна оболонка реалізованого Android – додатку. На рис. 1 зображено загальна блок-схему роботи Android-додатку [1].

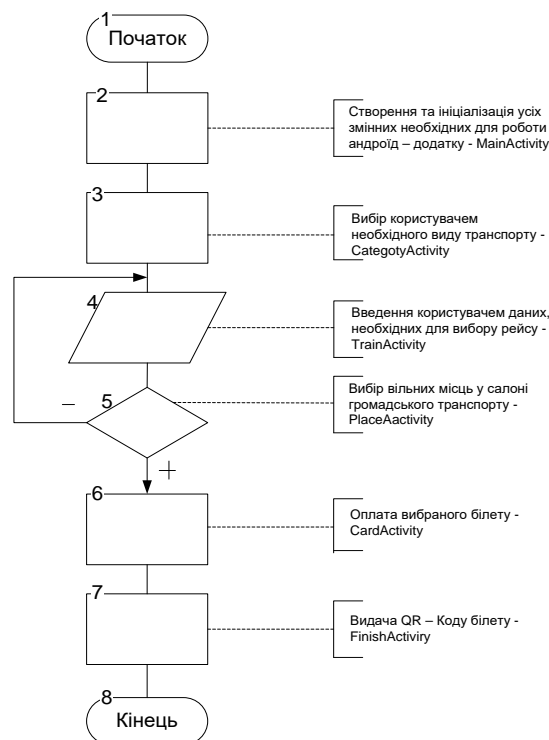


Рисунок 1 - Загальна блок-схема роботи Android-додатку

Важливо зазначити, що алгоритм вибору найбільш підходящих маршрутів за введеними даними користувача реалізований на серверній частині розробленої спеціалізованої системи. Усі введені дані відправляються POST – запитом на сервер, де доробляються і на їх підставі сервер повертає з бази даних усі відповідні розклади маршрутів.

Низькорівневі мови, дають програмістам прямий доступ до апаратних ресурсів комп'ютера, таких як реєстри процесора, пам'ять та ввід/вивід. Це дозволяє ефективно виконувати операції без додаткового шару абстракції, як у високорівневих мовах [5].

#### IV. ВИСНОВКИ

В результаті розроблено удосконалену інформаційну систему пошуку та купівлі квитків на різні види транспорту, яка поєднує усі найважливіші аспекти у сфері обслуговування клієнтів. Послідовна архітектура надає можливість об'єднати розуміння та управління програмою для користувачів. Автоматичний збір та аналіз інформації про розклади руху транспорту, ціни квитків і наявність місць, а також збереження графіку руху офлайн дає можливість приносити користь користувачу навіть без зв'язку з мережею. Висока швидкодія завдяки написанню коду програми на низькорівневих мовах програмування дозволяють уникнути додаткових операцій перекладу або інтерпретації, що зменшує накладні витрати. Інформаційна система пошуку на ОС Android стане невід'ємною частиною всіх людей, що бажають швидко та зручно подорожувати в незалежності від наявності мережі.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1]. Дарвін Я. Android. Збірник рецептів. Завдання та рішення для розробників додатків / Ян Дарвін., 2016.
- [2]. Кормен, Т. Алгоритми: побудова та аналіз / [Текст] Т. Кормен, Ч. Лейзерсан, Р. Рівест. 2013, с236.
- [3]. Пасічник В.В., Пасічник О.В., Угрин Д.І. Веб-технології. Підручник – Львів: Магнолія-2018
- [4]. «PHP and MySQL Web Development (4th Edition)», Luke Welling, Laura Thomson
- [5]. О. М. Ткаченко., В.А. Капчук. Об'єктно-орієнтоване програмування мовою JAVA. Навчальний посібник.- Вінниця: ВНТУ, 2015.

# Удосконалення математичних моделей інформаційної безпеки

Михайло Крихівський, Вікторія Бандура

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I. ВСТУП

Характерною особливістю сучасних інформаційних технологій є застосування кібернетичних систем з програмним забезпеченням. Такі системи часто зазнають атак з метою зміни алгоритму їх роботи або заволодіння та знищення інформації. Особливо це актуально в умовах воєнного стану.

Запобігання таким загрозам є актуальною проблемою та повинно використовувати системний підхід з використанням математичних моделей, які слід удосконалювати з метою адаптації до нових методів проникнення, що виявляються в процесі застосування комп'ютерних систем. У цьому напрямі важливим є аналіз математичних моделей інформаційної безпеки для виявлення недоліків та можливості удосконалення.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

У роботі [1] запропоновано модель розмежування прав доступу, яка, використовуючи особливості процесу хешування, дозволяє обмежити перелік робочих станцій, із яких користувачеві дозволено отримувати віддалений доступ до інформаційних ресурсів.

Дослідженню й аналізу інформаційних атак в умовах війни присвячена оглядова стаття [2], що є однією з найгостріших проблем сучасності. Результати дослідження розкрили основні особливості інформаційних війн та їх вплив на кібербезпеку в глобальному масштабі та в окремих організаціях і державах.

Серія статей [3-8] пропонує аналіз застосування математичних методів та методологій до інформаційної та кібернетичної безпеки. Кластерний аналіз як основний підхід до кібербезпеки [3] можна використати для формалізації інформаційних ризиків. Описані етапи процедури кластеризації, вибору міри відстані та міри подібності для інформаційних об'єктів. Запропоновано застосовувати такі методи кластерного аналізу: алгоритм «найближчого сусіда», «k-means», «fuzzy c-means», «cosine similarity». Фрактальні моделі для захисту інформації можуть бути використані [4] в алгоритмах криптографічних і стеганографічних методів захисту інформації. Добре досліджені та описані алгоритми на графах також можуть бути корисними [5] у кібербезпеці. Оцінювання рівня захищеності інформаційної системи доречно досліджувати за допомогою математичних моделей теорій конфліктології [6], катастроф [7] та ігор [8].

Важливим завданням є виявлення та попередження вторгнень в інформаційну систему, що неможливо без застосування математичних методів. Авторами статті [9] «розглянуто наступні математичні методи: сигнатурні методи; статистичні методи, а саме – приховані марковські моделі, метод опорних векторів, сплайни багатовимірної адаптивної регресії, методи кластеризації, байєсовські мережі; методи природних обчислень, такі як штучні нейронні мережі, штучні імунні мережі, генетичні алгоритми; біометрія поведінки; методи нечіткої логіки; експертні системи; теорія графів; теорія фракталів; теорія ігор». Ці методи проаналізовані й охарактеризовані. Відмічено, що поки не вдалося створити ідеальної IDPS, яка б не вимагала змін, доповнень та вдосконалень.

Дослідження математичних моделей у ракурсі оптимізації показало велику складність наукової проблеми безпеки інформації [10]. Класифіковано їх у моделі трансформації станів

кінцевого автомата, моделі запозичення і передачі повноважень, семантичні моделі та моделі інформаційних потоків. Показано, що актуальність розробок у галузі кібербезпеки буде зростати.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Математичні моделі інформаційної безпеки умовно можна розділити за призначенням:

- моделі автентифікації, цифровий підпис,
- моделі розмежування прав доступу,
- моделі захисту програмного коду від несанкціонованого дослідження,
- моделі моніторингу та виявлення вторгнень.

Кожна із цих частин є важливою в умовах, коли атаки на інформаційні системи здійснюють державні інституції з великими об'ємами фінансування. Особливо нагальним є створення безпечних умов функціонування у воєнний час.

Для вирішення цього завдання слід використовувати комплексний підхід до розробки та аналізу математичних моделей кібербезпеки. Методологія базується на наступних ключових принципах:

- Моделювання загроз: з використання теорії ігор та стохастичних процесів для моделювання поведінки атакуючих та захисних стратегій.
- Аналіз ризиків: Застосування квантитативних методів для оцінки ймовірності та потенційного впливу кібератак.
- Оптимізація захисту: розроблення оптимізаційних моделей для визначення найбільш ефективних стратегій кіберзахисту.
- Валідація моделей: перевірка моделей на реальних даних та сценаріях для забезпечення їхньої точності та придатності.

Дискреційні математичні моделі кібербезпеки, які базуються на матриці доступу, є важливим інструментом для управління правами доступу в інформаційних системах. Матриця доступу дозволяє визначити та контролювати, які користувачі мають доступ до певних ресурсів системи. Кожен рядок матриці представляє суб'єкт (наприклад, користувача), а кожен стовпець – об'єкт (наприклад, файл). Елементи матриці вказують на тип доступу, який суб'єкт має до об'єкта.

Застосування нечітких множин до цієї моделі дозволяє ввести градацію прав доступу, що є більш гнучким та реалістичним підходом, ніж традиційні бінарні (дозволено/заборонено) системи. Нечіткі множини дозволяють визначити ступінь приналежності суб'єкта до множини користувачів, які мають доступ до певного ресурсу, що може змінюватися від 0 до 1. Це дозволяє моделювати різні рівні довіри та авторизації.

Розглянемо систему, де необхідно контролювати доступ до конфіденційних документів. За допомогою нечіткої логіки, можна встановити, що деякі користувачі мають повний доступ (ступінь приналежності 1), інші – частковий доступ (ступінь приналежності між 0 та 1), а решта – не мають доступу взагалі (ступінь приналежності 0).

Такий підхід дозволяє більш тонко налаштовувати політики безпеки, враховуючи різні рівні ризику та необхідність доступу до інформації. Він також забезпечує можливість динамічної зміни прав доступу в залежності від змін у ролі користувача або політиках безпеки. Також появиться можливість відслідковувати надмірну активність користувачів у знищенні великої кількості інформації, що не змогли передбачити у компанії Київстар, що зазнала потужної атаки.

### IV. ВИСНОВКИ

Широке проникнення математичних методів у розробку інформаційних технологій характеризує сучасний етап нашого суспільства. Серед математичних методів, що застосовують в інформаційній та кібернетичній безпеці, велику нішу складають моделі розмежування прав доступу технології. Поєднання кластерної технології як математичної

моделі найрізноманітніших об'єктів, явищ і зв'язків між ними з популярними сьогодні математичними моделями розмежування прав. Цим і обґрунтовано вибір та актуальність даного дослідження.

Уміння оперувати методами представлення нечіткої інформації та технологій прийняття рішення сприяє розвитку програмних і технічних засобів захисту інформації. Поєднання кластерного підходу до розмежування прав з нечіткістю, яка буде динамічно змінюватись в процесі експлуатації інформаційної системи, дозволить гнучко та ефективно реалізовувати безпеку інформаційних систем.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Баришев Ю. В., Каплун В. А., Неуйміна К. В. Дискреційна модель та метод розмежування прав доступу до розподілених інформаційних ресурсів. *Наукові праці ВНТУ*. 2017. № 2. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/26676/506-Текст%20статті-560-1-10-20170912.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення 10.04.2024).
- [2] Kravchenko, O., Veklych, V., Krykhivskiy, M., & Madryha, T. Cybersecurity in the face of information warfare and cyberattacks. *Multidisciplinary Science Journal*. 2024. 6. URL: <https://malque.pub/ojs/index.php/msj/article/view/1938> (дата звернення 10.04.2024).
- [3] Шевченко С. М., Жданова Ю. Д., Спасітелева С. О., Мазур Н. П., Складанний П. М., Негоденко В. П. Математичні методи в кібербезпеці: кластерний аналіз та його застосування в інформаційній та кібернетичній безпеці. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. № 3(23). С. 258–273.
- [4] Шевченко С. М., Жданова Ю. Д., Спасітелева С. О., Негоденко В. П., Мазур Н. П., Кравчук К. В. Математичні методи в кібербезпеці: фрактали та їх застосування в інформаційній та кібернетичній безпеці. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2019. №1(5). С. 31–39.
- [5] Шевченко С. М., Жданова Ю. Д., Складанний П. М., Спасітелева С. О. Математичні методи в кібербезпеці: графи та їх застосування в інформаційній та кібернетичній безпеці. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2021. № 1(13). С. 133–144.
- [6] Шевченко С. М., Складанний П. М., Негоденко О. В., Негоденко В. П. Дослідження прикладних аспектів теорії конфліктів у системах безпеки. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2022. № 2. С. 150–162.
- [7] Шевченко С. М., Жданова Ю. Д., Спасітелева С. О. Математичні методи в кібербезпеці: теорія катастроф. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2023. № 3(19). С. 165–175.
- [8] Шевченко С. М., Жданова Ю. Д., Складанний П. М., Бойко С. В. Теоретико-ігровий підхід до моделювання конфліктів у системах інформаційної безпеки. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2023. № 2(22). С. 168–178.
- [9] Лисенко Н. О., Мазуренко В. Б., Федорович А. І., Астахов Д. С., Стаценко В. І. Огляд математичних методів у системах виявлення та попередження кіберзагроз. *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*. 2021. № 25. С. 91–102.
- [10] Лаптев О. А., Степаненко В. І., Тихонов Ю. О. Формальні математичні моделі для забезпечення безпеки інформації. *Сучасний захист інформації*. 2019. №1(37). С. 59–63.

СЕКЦІЯ 3



# МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

# Evaluation of the plates reliability with a stochastic distribution of rigid rod inclusions

Roman Kvit, Tetyana Salo

*Lviv Polytechnic National University  
Lviv, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

In studies of the composite materials mechanics, which occupy an important place in the design of structural elements, an urgent task is to study their stress state and failure. The probabilistic assessment of the failure state under a given loading is an important stage in strength and reliability calculations, which depend on structural defects and are always some random values. Therefore, when solving the problems of predicting the limit state of structural elements, the comprehensive application of deterministic solutions of the composite materials fracture mechanics and probabilistic statistical methods provides a qualitative assessment of their strength and reliability. Such a complex approach opens up the possibility of calculating the strength statistical characteristics and failure of materials based on data on the structure of the material defect and its resistance to the initiation and development of cracks. It also makes it possible to explain some contradictions between the developed theoretical models of strength calculation with deterministic input values and empirical consideration of random material parameters and loadings.

## II. ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

The purpose of the paper [1] is to rationally determine the strength coefficients of quasibrittle structures, taking into account their size and shape. The probability density distribution function of the structure strength is established, which for quasibrittle materials depends on the size and geometry of the structure. A mathematical description of the structure durability as a function of the applied (invariant over time) nominal stress was carried out. The article [2] presents a methodology for assessing the reliability of composite materials, which is based on the appropriate limit state functions obtained in accordance with certain fundamental failure criteria that are applied to composite materials. The proposed technique uses the stochastic response surface method, which combines finite element analysis modeling, numerical modeling, and analytical probabilistic estimation methods in discrete steps. The conducted studies demonstrate their effectiveness when applied to complex geometry of the structure. In study [3], an analysis of the reliability of bistable composite laminates, which are used for engineering structures due to the properties of shape change and low density, was carried out. Reliability analysis was investigated using Monte Carlo simulations. The research results are confirmed by their comparison with the results obtained by the finite element method. The work [4] investigated the fracture toughness of composite materials. The composite microstructure is represented by an embedded cell near the crack tip, and the rest of the sample is modeled as an anisotropic elastic body. The model is verified on experimental data on transverse cracking of the matrix as a result of tests on three-point bending with one notch. The research results are an important aspect in the development of composites with high fracture toughness. The paper [5] investigated the reliability of composite plates based on carbon fiber/epoxy resin, manufactured using the process of vacuum transfer molding of resin. The change in volume fraction of the fibers was evaluated in different areas of the composite plate. The effective orthotropic properties of the composite for different volume fractions of the fibers were numerically calculated by the method of homogenization using periodic boundary conditions. In article [6], an approach to adaptive multi-point modeling is proposed, in which actively damaged areas of composite materials are modeled using high-fidelity precision three-dimensional brick

elements and discrete cracks, while dormant and inactive areas are modeled with lower-fidelity shell elements and smeared cracks.

### III. PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

An elastic rectangular plate is considered, in which rigid linear (rod) inclusions, which do not interact with each other, are uniformly distributed. The plate is in conditions of comprehensive tension-compression under the action of a uniform loading  $P$  and  $Q$  ( $Q = \eta P$ ) [7]. We consider the values  $P$  and  $Q$  as the principal stresses in the plane stress state. Inclusions are characterized by length  $2l$  and orientation  $\alpha$  (the angle of inclination of the inclusion relative to the direction of action of the loading  $P$ , which changes in the interval  $[-\pi/2; \pi/2]$ ). The inclusion parameters  $l$  and  $\alpha$  are statistically independent random variables that have certain laws of probability distribution (respectively, exponential:  $f(l) = e^{-l/h} / h$  and uniform:  $f(\alpha) = 1/\pi$ ).

In article [7], based on the well-known deterministic solution [8], using the algorithm [9], the ratio of the integral function of the failure loading distribution  $F_1(|P|, \eta)$  for a plate element with one inclusion of the specified type at different values of the parameter  $\eta$  was obtained.

According to the results of paper [7], the equation of statistical strength diagrams for a plate with  $N$  inclusions corresponding to a given probability  $P_g$  of failure:

– for the case  $P > 0$  (biaxial tension or tension-compression)

$$1 - \sqrt[N]{1 - P_g} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} e^{-\frac{K_0^2(\varphi_1(\eta, \varkappa) + \varphi_2(\eta, \varkappa)\cos 2\alpha)^{-2}}{P^2 h}} d\alpha, & \frac{3 - \varkappa}{1 + \varkappa} \leq \eta \leq 1; \\ \frac{2}{\pi} \left\{ \int_0^{\alpha_1} e^{-\frac{K_0^2(\varphi_1(\eta, \varkappa) + \varphi_2(\eta, \varkappa)\cos 2\alpha)^{-2}}{P^2 h}} d\alpha + \int_{\alpha_1}^{\pi/2} e^{-\frac{K_0^2(\varphi_3(\eta, \varkappa) + \varphi_4(\eta, \varkappa)\cos 2\alpha)^{-2}}{P^2 h}} d\alpha \right\}, & -\infty < \eta \leq \frac{3 - \varkappa}{1 + \varkappa}; \end{cases} \quad (1)$$

– for the case  $P < 0, Q < 0$  (biaxial compression)

$$1 - \sqrt[N]{1 - P_g} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} e^{-\frac{K_0^2(\varphi_3(\eta, \varkappa) + \varphi_4(\eta, \varkappa)\cos 2\alpha)^{-2}}{P^2 h}} d\alpha, & 1 \leq \eta \leq \frac{1 + \varkappa}{3 - \varkappa}; \\ \frac{2}{\pi} \left\{ \int_0^{\alpha_1} e^{-\frac{K_0^2(\varphi_1(\eta, \varkappa) + \varphi_2(\eta, \varkappa)\cos 2\alpha)^{-2}}{P^2 h}} d\alpha + \int_{\alpha_1}^{\pi/2} e^{-\frac{K_0^2(\varphi_3(\eta, \varkappa) + \varphi_4(\eta, \varkappa)\cos 2\alpha)^{-2}}{P^2 h}} d\alpha \right\}, & \frac{1 + \varkappa}{3 - \varkappa} \leq \eta < \infty; \end{cases} \quad (2)$$

$$Q = \eta P. \quad (3)$$

Here, the value  $\varkappa = \frac{3 - \nu}{1 + \nu}$  (the case of the plane stress state),  $\nu$  is the Poisson's ratio of the plate material, the constant  $K_0$  characterizes the resistance of the material to local failure, the analytical representation of the function  $\varphi_i(\eta, \varkappa)$  ( $i = \overline{1, 4}$ ) is given in [7].

According to expressions (1)–(3), statistical diagrams of the plates strength with stochastically distributed rigid rod inclusions were constructed for different values of the parameter  $P_g$ .

### IV. CONCLUSIONS

Strength diagrams for different number of defects indicate the large-scale effect of plate strength. An increase in the size of the plate (number of inclusions) shows a large-scale effect,

which is of a statistical nature. The intensity of the scale effect does not depend on the aid of the stress state. It was established that the effect of Poisson's ratio of the plate material on the shape of the diagrams is negligible. Similar regularities were found in the results of work [10].

#### REFERENCES

- [1] Z. Bazant, "Mechanics based statistical prediction of structure size and geometry effects on safety factors for composites and other quasibrittle materials," in *Theoretical and Applied Mechanics*, Vol 35, No 1–3, pp. 53–71, 2008, doi: 10.2298/Tam0803053B
- [2] A. Kolios, and S. Proia, "Evaluation of the reliability performance of failure criteria for composite structures," in *World Journal of Mechanics*, Vol.2, pp. 162–170, 2012, doi: 10.4236/wjm.2012.23019
- [3] S. Saberi, A. Abdollahi, and F. Inam, "Reliability analysis of bistable composite laminates", in *AIMS Materials Science*, Vol. 8, No 1, pp. 29–41, 2021, doi: 10.3934/matricsci.2021003
- [4] W. Tan, and E. Martínez-Pañeda, "Phase field fracture predictions of microscopic bridging behaviour of composite materials," in *Composite Structures*, Vol. 286, 115242, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115242>
- [5] P. Rakesh, A. More, M. Kumar, and N. Muthu, "Probabilistic failure prediction in a double composite cantilever beam with single and double source uncertainty," in *Composite Structures*, Vol. 279, 114870, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114870>
- [6] K. Leong, J. Zhi, H. Lee, V. Tan, and T. Tay, "Adaptive multi-fidelity (AMF) modelling of progressive damage in notched composite laminates," in *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 154, 106790, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106790>
- [7] P. Pukach, R. Kvit, T. Salo and M. Vovk, "A probable approach to reliability assessment of reinforced plates," in *Applied System Innovation*, Vol. 6, No 4(73), 2023, <https://doi.org/10.3390/asi6040073>
- [8] V. Panasyuk, L. Berezhnyskyi, and I. Trush, "Stress distribution near defects such as rigid acute-angled inclusions," in *Strength of Materials*, Vol. 7, pp. 3–9, 1972.
- [9] P. Vytvytskyi, and S. Popina, Strength and criteria of brittle fracture of stochastically defective bodies, Kyiv, Naukova Dumka, 1980, 186 p.
- [10] R. Kvit, T. Salo. "Diagrams of statistical strength criterion for reinforced composite materials," in *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, Vol. 20, No 2, 2021, pp. 43–51, DOI: 10.17512/jamcm.2021.2.04

# Phase composition of nickel-based superalloys

Olexander Glotka, Kyrylo Obnosov, Denys Sotnikov

*Zaporizhzhia Polytechnic National University, Ukraine, Zaporizhzhia*

## I. INTRODUCTION

In gas turbine engines and gas turbine engines, there are guide vanes that serve to create directed flows of working gases. The use of single-crystal nickel-based superalloys for the manufacture of high-pressure turbine blades has made it possible to increase their strength and service life.

## II. ANALYSIS OF LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS

Improvement of existing compositions leads to an increase in operating temperature by an average of 25 degrees every year. To stabilize the phase composition and reduce precipitation of TCP- phases, single-crystal alloys are alloyed with rhenium and ruthenium [1-7]. However, the irrational introduction of these elements will lead not only to an increase in the cost of the product, but also to the release of unfavorable phases.

The purpose of the work is to establish the relationship between the chemical and phase composition in the single-crystal system Ni-Al-Re-Ru-Cr-Co-W-Ta. Determine the dependence of heat resistance on the content of alloying elements in the alloy.

## III. Research results and discussion

In the Ni-Al-Re-Ru-Cr-Co-W-Ta system, depending on the content of alloying elements, the formation of many phases is possible, but the main phases for this system remain the following:  $\gamma$  - solid solution; eutectic  $\gamma+\gamma'$ ; type  $\gamma'$  intermetallic compound based on  $(Ni_3Al)$ . The main elements that form the strengthening  $\gamma'$ -phase are aluminum and tantalum; sometimes they can be replaced by rhenium and ruthenium, but basically these elements are in the  $\gamma$ -solid solution. In the future, we will consider the influence of the chemical composition of the system on the chemical composition of the  $\gamma$ - and  $\gamma'$ -phases, the amount of the  $\gamma'$ -phase and the influence of the phase property on the properties.

When aluminum is introduced up to 3% into the system under study, it leads to its dissolution in the  $\gamma$ -solid solution and does not lead to the formation of the  $\gamma'$ -phase. Only when the aluminum content in the alloy exceeds 3%, a strengthening phase is formed in an amount of 21% and increases directly proportionally to 60% at an aluminum content of 6%. The dissolution temperature of the  $\gamma'$ -phase also increases linearly from 863°C to 1235°C, respectively. Comparing changes in alloying elements in the phases, it can be argued that an increase in aluminum in the system leads to an increase in it in both phases. Other elements practically do not change their content: cobalt -  $9\pm 1\%$ ; ruthenium -  $6\pm 1\%$ ; tungsten -  $3\pm 1\%$ ; rhenium -  $5\pm 1\%$ ; chromium -  $4\pm 1\%$ , except tantalum. The amount of Ta simultaneously decreases both in the solid solution and in the strengthening phase, which may be associated with an increase in the amount of the  $\gamma'$  phase.

An increase in the amount of tantalum in the system leads to an increase in the dissolution temperature of the strengthening phase, which is associated with an increase in the strength of interatomic bonds. Also, the amount of  $\gamma'$ -phase increases with an increase in this element and its predominance in the strengthening phase increases when it exceeds 5%. Thus, the  $\gamma'$ -phase basically increases the amount of tantalum. Other alloying elements practically do not change their presence both in the  $\gamma'$ -phase and in the  $\gamma$ -solid solution.

Rhenium and ruthenium have virtually no effect on the composition of other elements in the  $\gamma'$ -phase or  $\gamma$ -solid solution, but contribute to the release of TCP-phases. Thus, with an increase in

the composition of the rhenium system, its amount in the  $\gamma'$ -phase increases from 0.14 to 0.91%, and the volume of the  $\gamma'$ -phase from 57 to 62%.

Despite the increase in the dissolution temperature of the  $\gamma'$  phase, TCP phases are formed in the system at 3% rhenium (HCP\_A3: 47.7 Ru, 40.9 Re, 5.0 Co, 2.58Mo) and at 6% rhenium (P phase: 55 Re, 4 Ru, 30 W, 5.8 Ni, 2.4 Co, 1.99 Cr) which significantly reduce the strength of the alloy. In this case, an increase in the amount of ruthenium in the system leads to an increase in the amount of  $\gamma'$ -phase by only 3% and practically does not affect the temperature of its dissolution, however, its amount increases from 0.59 to 3.5% in the  $\gamma'$ -phase and from 1.25 to 8.2% in the solid solution. The addition of ruthenium to the alloy does not lead to the formation of TCP phases.

The influence of rhenium and tantalum on the ratio of crystal lattice parameters of the  $\gamma'$ - and  $\gamma$ - phases (mismatch) at a temperature of 20°C. This behavior is explained by the fact that tantalum is present in the  $\gamma'$ -phase, which increases mismatch, and rhenium is present in a large amount in the solid solution, which reduces mismatch. Between 5 and 6% rhenium and tantalum in the alloy there is a mismatch equilibrium.

With an increase in the amount of rhenium and tantalum in the alloy, the heat resistance increases. However, with an increase in rhenium, TCP phases can form in the alloy, which increase the brittleness of the material and reduce the performance of parts. Thus, saturating an alloy with strengthening elements does not always lead to the desired effect.

The dependences obtained above were tested on the industrial single-crystal superalloy VZhM-4. Using energy dispersive analysis on a scanning electron microscope REM-106I, microstructure studies were carried out and the chemical compositions of the phases were determined. It was established that the result obtained by the calculation method has good comparability with experimental data.

That the calculated and experimental data are in good agreement with each other for almost all elements. An increased content of tungsten, cobalt, rhenium and ruthenium in the solid solution and nickel, aluminum, tantalum in the  $\gamma'$ -phase are observed. Thus, the calculated data for determining the type and chemical composition of phases showed good convergence and agreement with experimental data obtained by electron microscopy.

#### IV. Conclusions

1. Based on an integrated approach for the Ni-Al-Re-Ru-Cr-Co-W-Ta system, new regression models were obtained that make it possible to adequately predict the chemical composition of phases based on the chemical composition of the alloy. It is shown that the obtained dependences vary with the content of the element and closely correlate with the thermodynamic processes occurring in the system, accompanying changes in the composition of the phases.
2. It has been established that with increasing tantalum concentration, the amount of  $\gamma'$ -phase and the temperature of its complete dissolution increase. An increase in the rhenium content to 3% leads to the formation of the TCP phase (HCP\_A3), and at 6% rhenium (P phase), which significantly reduces the strength of the alloy. Between 5 and 6% rhenium and tantalum in the alloy there is a mismatch equilibrium.
3. A comparative assessment of the calculated results obtained from regression models and experimental data obtained by X-ray spectroscopy was carried out. Analysis of the results yielded good convergence, which makes it possible to recommend them for use in predicting structural components both in industrial alloys and in the development of new materials.

#### References

- [1] A. I. Balyts'kyi, Y. H. Kvasnyts'ka, L. M. Ivas'kevich, H. P. Myal'nitsa, Corrosion- and Hydrogen-Resistance of Heat-Resistant Blade Nickel-Cobalt Alloys. Mater. Sci., 54: 230 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-018-0178-z>
- [2] Moyye, D.P., Satheesh Kumar, S.S., Nagarajan, D. et al. Microstructural Evolution and Mechanical Behavior during Isothermal Multiaxial Forging of Nickel-Based Superalloy

SUPERNI 718. J. of Materi Eng and Perform (2024). DOI:<https://doi.org/10.1007/s11665-024-09249-1>

- [3] H. Zhang, K. Zhang, S. Jiang, H. Zhou, C. Zhao, and X. Yang, Dynamic Recrystallization Behavior of a  $\gamma'$ -hardened Nickel-based Superalloy during Hot Deformation, *J. Alloys Compd.*, 623, 374–385 (2015). DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.11.056>
- [4] Wang, H.; Zhang, J.; Shang, H.; Sha, A.; Cheng, Y.; Duan, H. Experiment and Modelling of the Pre-Strain Effect on the Creep Behaviour of P/M Ni-Based Superalloy FGH96. *Materials*, 16, 3874 (2023). DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16103874>
- [5] S. Bond, J. Martin, Surface Recrystallization in a Single Crystal Nickel-Based Superalloy, *J. Mater. Sci.*, **19**, 3867–3872 (1984). DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00980749>
- [6] C. Zambaldi, F. Roters, D. Raabe et al., Modeling and Experiments on the Indentation Deformation and Recrystallization of a Single-Crystal Nickel- Base Superalloy, *Mater. Sci. Eng. A*, 454, 433–440 (2007). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.11.068>
- [7] A.A. Glotka, V.Y. Ol'shanetskii. Mathematical Prediction of the Properties of Heat-Resistant Nickel Alloys After Directional Crystallization, *Materials Science*, 58(5), 679-685 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-023-00716-z>

# Застосування роботів в сільськогосподарському виробництві

Катерина Васильковська

*Центральноукраїнський національний технічний університет  
м. Кропивницький, Україна*

## I. Вступ

Підготовка ґрунту, догляд за посівами, первинне очищення зібраного врожаю, зберігання його та переробка продукції потребує засобів механізації та автоматизації, які б забезпечили якісну та безперебійну роботу аграрних підприємств.

Протягом всієї історії розвитку сільського господарства землеробство розвивалось від простих ручних інструментів та агрегатів, запряжених тваринами, до складного автоматизованого обладнання. Однак, слід зазначити, що і сьогодні ручні засоби та тяглова сила тварин все ще використовуються в країнах, що розвиваються. Використання примітивних знарядь разом із ручною працею знижує продуктивність її та зменшує рентабельність виробництва.

Таким чином, зростання рівня механізації та автоматизації технологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур, прагнення зменшити кропітку працю та полегшити найважчі роботи у пікові періоди (підготовка ґрунту, міжрядний обробіток, збирання врожаю, транспортування його, тощо).

Наявність відповідного високопродуктивного обладнання та використання його в потрібний час зумовлює перехід від натурального господарства до ринково-орієнтованого сільського господарства. Оптимальні умови посіву (температура ґрунту і вологість) мають важливе значення, особливо з огляду на зростаючої нерівномірності опадів та температури. Таким чином, сільське господарство, з використанням роботизованих рішень є основою для сталого сільського господарства в майбутньому [1].

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Підвищення продуктивності продукції сільськогосподарського виробництва, в умовах сьогодення, можливе за рахунок новітніх технологічних рішень в землеробстві, що не просто гарантуватиме продовольчу та харчову безпеку в країні, а дасть можливість збільшити валютні надходження до казни [2].

На сьогоднішній день агрегатів в сільському господарстві використовуються переважало в розвинених країнах, причому трактор став основним джерелом сільськогосподарської енергії. В останні роки спостерігається стійке постійне зростання кількості тракторів та інших агрегатів, як за розміром, так і за потужністю [3].

Однак, якщо в великих розвинених країнах, площі фермерських господарств збільшуються та техніка, яка їх обробляє стає крупнішою і потужнішою, зовсім інша тенденція присутня в країнах, які розвиваються. Тут невеличкі фермерські господарства з низьким рівнем доходу мають незначну кількість невеличких та неpotужних агрегатів.

Тому автоматизація та механізація сільського господарства та пошук новітніх оптимальних засобів для заміни кропіткої ручної праці як в великих господарствах, так і в невеличких, є актуальною задачею сьогодення.

Одним із нових технологічних рішень в аграрному виробництві є використання агророботів для забезпечення якісного технологічного процесу. Сільськогосподарські роботи відносяться до розумних роботів, які використовуються в сільськогосподарському виробництві. Керування ними можливе за допомогою різних програм і програмного

забезпечення із адаптацією під різні технологічні операції. Агророботи мають можливість адаптуватись до типів культур або змін навколишнього середовища [2].

У порівнянні з промисловими роботами або роботами в інших галузях, середовище, в якому працюють агророботи мінливе, а робочі завдання надзвичайно складні.

Історія сільськогосподарських роботів поділяється на два етапи. До 2000 року аграрні роботи були механічно та електрично автоматизовані. Після 2000 року автоматизація перейшла на новий рівень із використанням нових технологій, таких як штучний інтелект та машинний зір.

З 1980-х років минулого століття в розвинутих країнах через брак земельних та людських ресурсів, почалась розробка та дослідження сільськогосподарських роботів, які забезпечували виконання різноманітних технологічних операцій для сільськогосподарського виробництва, такі як: щеплення, зрізання, пересадка та збирання. Поява та застосування роботів у галузі сільського господарства дало поштовх розвитку сільськогосподарської автоматизації, точності та інтелектуальних технологій.

Бурхливий розвиток цієї гілки галузі забезпечення технологічного процесу в сільськогосподарському виробництві спонукала не тільки продовольча криза в світі, а й можливість усунення ручної праці із таких складних та багатозадачних операцій в сільському господарстві, таких як: прополювання, щеплення, збирання врожаю [4, 5].

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На сьогоднішній день на ринку представлено багато різноманітних роботів для сільського господарства, так як безліч завдань, які потрібно виконати потребують стільки ж можливих застосувань роботів у сільському господарстві. Існують роботи для підготовки ґрунту, посіву насіння, знищення шкідників та збирання врожаю зернових культур.

Окремою групою є роботи, які виконують роботу моніторингу посівів.

Так, робот Rowbot стежить за станом посівів та розвитком рослин, аналізує вміст азоту в ґрунті, за необхідності. Якщо азоту в ґрунті недостатньо, розраховує необхідну дозу та вносить. Сферичний робот Rosphere було створено для збору інформації про стан ґрунту та посівів. Принцип його пересування такий: всередині Rosphere міститься маятниковий механізм, здатний рухатися в двох незалежних напрямках. Завдяки такій конструкції робот не тільки котиться по прямій, а й здійснює повороти. Він також оснащений GPS-трекером і датчиками, за допомогою яких збирає інформацію про стан посівів, ґрунту, його температуру та вологість. Інформація передається на комп'ютер агронома (рис. 1 а) [6, 7].

Наступною групою є досить велика група аромоботів для міжрядної обробки та боротьби із бур'янами.

Робот AgBot II може розпізнавати бур'яни та обирати спосіб для їх знищення. AgBot II знищує бур'яни трьома методами: хімічним, механічним та термічним. Якщо роботу трапляються стійкі до гербіцидів бур'яни, то вони видаляються за допомогою механічної руки або мініатюрного пальника.

Робот Oz може прополювати грядки, знищуючи бур'яни. Апарат працює у трьох режимах: автономному, ручному та режимі «стеження». Останній режим означає, що робот їде за певним об'єктом у межі видимості. Крім видалення бур'янів, Oz може також допомогти в переміщенні невеликих вантажів. Наприклад, він може везти за вами каністру або знаряддя праці (рис. 1 б) [7, 8].

Агророботи для виконання специфічних операцій становлять також окрему групу роботів.

Wall-Ye – робот, розроблений для виконання робіт на виноградниках. До його завдань входить обрізання та пасинкування (видалення непродуктивних молодих пагонів), а також збір важливих даних про стан ґрунту, плодів і лози. Оснащений чотирма колесами, двома руками і шістьма камерами.

Робот Aquarius використовується для поливу тепличних рослин. Для цього робот обладнаний спеціальним баком для води. Він може працювати у двох режимах: фіксованому та пропорційному. У першому випадку агроном сам встановлює потрібну дозу для поливу рослин і вже потім апарат працює відповідно до заданих налаштувань. Другий варіант – робот за допомогою сенсорів аналізує, скільки води потрібно кожній рослині, й сам визначає норму виливу (рис. 1 в) [8, 9].



Рисунок 1 – Загальний вигляд агророботів:  
а – сферичний робот Rosphere для моніторингу посівів;  
б – робот Oz для міжрядного обробітку;  
в – робот для обрізки виноградної лози Wall-Ye

#### IV. ВИСНОВКИ

Агророботи, як новітня технологія для сільськогосподарського виробництва, не тільки заощаджують витрати на робочу силу, але й покращують можливість контролю якості та підвищують здатність протистояти природним ризикам. Саме агророботи здатні, якщо не протистояти мінливому середовищу в якому вони працюють, то хоча б пристосуватись до нього найкращим чином. Тому, використання аграрних роботів для збирання врожаю овочевих та ягідних культур забезпечить усунення ручної праці, покращення виконання технологічного процесу та зменшенню виробничих витрат.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Naio Technologies. (2016). Naio Technologies. Escalquens, France. URL: <https://www.naio-technologies.com/wp-content/uploads/2016/02/naoi-oz-lafranceagricole.fr.jpg> (дата звернення 05.03.2024)
- [2] Vasylykova K., Andriienko O., Malakhovska V. and Moroz O. (2022). Analysis of changes in comfortable sunflower growing areas using the example of Ukraine. HELIA, 45(77). 175-189. (DOI: <https://doi.org/10.1515/helia-2022-0010>)
- [3] Лещенко С.М., Сало В.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2013, 43 (1). С. 96-102.
- [4] Васильковська К.В., Андрієнко О.О., Шепілова Т.П. Ефективність агродронів в системі точного землеробства. Аграрні інновації. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2023. – Вип. 16. С. 13-18. (DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.2>)
- [5] Васильковська К.В., Андрієнко І.А., Філончук А.С. Використання агродронів в системі точного землеробства. Матеріали X Міжнародної науково-технічної онлайн конференції «Крамаровські читання». – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 201-203.
- [6] Agrobot. (2018). Agrobot Aarhus, Denmark. URL: <http://agrobotelli.com> (дата звернення 07.03.2024)
- [7] Emmi, L., Gonzalez-de-Soto, M., Pajares, G. & Gonzalez-de-Santos, P. (2014). New trends in robotics for agriculture: Integration and assessment of a real fleet of robots. The Scientific World Journal, 2014. (DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/404059>)
- [8] Agrobot. (2020). Agrobot. Huelva, Spain. URL: <https://www.agrobot.com/> (дата звернення 09.03.2024)
- [9] Santos Valle, S. et Kienzle, J. (2021). Agriculture 4.0: Robotique agricole et matériel automatisé au service d'une production agricole durable. Gestion intégrée de cultures. Vol. 24. Rome, FAO.

# Раціональне проектування трьохвальних коробок передач метаевристичним алгоритмом «Пошук мобільністю»

Олексій Бондаренко, Олександр Устиненко, Сергій Воронцов

*Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут»  
м. Харків, Україна*

## I. ВСТУП

На сьогоднішній день у машинобудуванні для регулювання передавального відношення широко застосовуються багатоступінчасті співвісні зубчасті приводи. Найбільш яскравим представником таких приводів є трьохвальна коробка передач [1]. На кожний (не прямий) передачі, такий привод працює як двохступінчастий зубчастий співвісний редуктор.

Складністю проектування такого типу приводів є розподілення передавальних чисел між ступенями коробки для кожної передачі з урахуванням постійного зачеплення та з одночасним забезпеченням рівномірності усіх зубчастих зачеплень при головній вимозі – поліпшення масогабаритних характеристик. Для розв'язання даного типу задач не існує якісних методик, а вибір зі спектру можливих розв'язків є складним та суб'єктивним, тому в даному випадку доцільно використати методи та підходи раціонального проектування. Одним з перспективних підходів є раціональне проектування за допомогою метаевристичних алгоритмів.

Сучасні тенденції уваги до метаевристичних алгоритмів призвели до того, що вже на наш час розроблено приблизно півсотні алгоритмів, для яких були доведені раціональність використання та ефективність. Процес розробки, апробацій, впровадження та адаптації для прикладного використання активно набирає обертів – ціла когорта нових метаевристичних алгоритмів стають на цей шлях. Це обумовлено високою ефективністю вказаних алгоритмів, що пов'язано з їх більш високим рівнем стратегічної організації.

Для розв'язання вказаної задачі буде використано метаевристичний алгоритм «Пошук мобільністю».

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Щоб зрозуміти місце метаевристичних алгоритмів у потоці алгоритмізації, треба звернутись до загально-прийнятої класифікації алгоритмів [1]. Зважаючи на дану класифікацію, зазначимо, що метаевристичні алгоритми займають гілку дерева систематизації «Алгоритми – Недетерміновані – Стохастичні – Метаевристичні». З визначеннями термінів, що зустрічаються в наданій вище класифікації, можна ознайомитись в [2]. З соціальною стратифікацією та мобільністю можна познайомитися в роботах [3-5]. Ознайомитися з алгоритмом «Пошук мобільністю» можна в роботі [6].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розглянемо постановку задачі раціонального проектування трьохвальних коробок передач.

Прийняті наступні змінні проектування: модулі пар зубчастих коліс, числа зубців коліс, кути нахилу зубців у зачепленнях.

З точки зору проектування автомобіля вкажемо на найбільш значущі характеристики, які використовуємо у якості критеріїв для оптимально-раціонального проектування: міжосьова відстань, довжина та маса коробки передач.

Цільова функція у випадку, коли критерієм оптимальності є мінімальна міжосьова відстань, визначається як сума міжосьових відстаней окремих зачеплень. Такий вигляд цільової функції дає змогу зменшити суму міжосьових відстаней усіх зачеплень коробки передач (КП), а при наявності умови рівності міжосьових відстаней між собою зберегти конструктивне розташування зубчастих зачеплень у КП.

Цільова функція у випадку, коли критерієм оптимальності є мінімальна довжина коробки передач визначається як сума ширин зубчастих коліс та додаткової величини, що враховує розміри синхронізаторів, різноманітних зазорів, опор, картеру тощо.

Цільова функція у випадку, коли критерієм оптимальності є мінімальна маса коробки передач, складається з суми мас зубчастих коліс, валів, вальниць, синхронізаторів та картеру з механізмом перемикачів. Написання цільової функції для цього випадку є досить складною задачею, бо на даному етапі неможливо врахувати маси усіх деталей КП. Можливо оцінити масу коробки передач з деякою похибкою, яка достатня для інженерних розрахунків.

Сформовано наступні обмеження на змінні проектування:

1. Міжосьові відстані зачеплень повинні бути рівні між собою;
2. Зубці коліс повинні мати необхідну контактну витривалість;
3. Зубці коліс повинні мати необхідну згинну витривалість;
4. Модуль зубців прийняті стандартизованим рядом на визначеному діапазоні значень;
5. Числа зубців коліс повинні приймати цілі значення (мають бути натуральними), а також обмежені верхнім та нижнім значенням з міркувань технології виготовлення;
- 6) З вимоги габаритного співвідношення зубчастих коліс передавальні числа не повинні перевищувати певне значення;
- 7) Кути нахилу зубців зубчастих коліс повинні бути обмежені крайніми значеннями;
- 8) Коефіцієнт ширини вінця також обмежується крайнім значенням.

Алгоритм «Пошук мобільністю».

Метаевристичний алгоритм «Пошук мобільністю» базується на процесах, що копіюють соціальну мобільність людських спільнот. Також цей алгоритм поєднує у собі й елементи модифікованого еволюційного алгоритму. Таке поєднання дає змогу алгоритму «Пошук мобільністю» максимально наблизитись до життєвого-соціального процесу більшої частини людства – прагнення зайняти кращу або не гіршу за поточну життєву позицію.

Як і більшість метаевристичних алгоритмів, алгоритм «Пошук мобільністю» починається з *ініціалізації початкової популяції людської спільноти*. У межах заявленої метафори, під початковою популяцією шифрується початковий набір пробних точок для пошукового процесу в просторі параметрів проектування.

*Генерування початкової популяції соціуму* проводиться з використанням ЛПт-рівномірно-розподіленої послідовності у межах усього можливого простору параметрів, що визначається числовими та функціональними вимогами та обмеженнями.

Після генерації початкової популяції вона піддається *аналізу на життєздатність* – перевірці відповідності об'єкта техніко-технологічним обмеженням, що гарантує його працездатність.

Наступним етапом алгоритму є *розрахунок для кожного індивіда його соціального статусу*. У межах заявленої метафори під соціальним статусом шифрується значення критеріїв якості, що відповідають даному набору параметрів.

Після розрахунку для кожного індивіда його соціального статусу *соціум сортується* за критеріями від більшого до меншого значення. Після сортування соціуму проводиться *стратифікація на класи*. Наступним етапом є *визначення поточного лідера*.

Завершення стратифікації суспільства символізує початок першої фази – *горизонтальної та вертикальної внутрішньопоколінної мобільності*.

Після *переміщення індивідів соціум сортується* та проводиться *стратифікація на класи*, яка визначає соціальну ієрархію. Після чого здійснюється фаза *горизонтальної та вертикальної внутрішньопоколінної мобільності*, яка може бути здійснена визначене число разів.

Для реалізації можливості фази *міжпоколінної мобільності* до алгоритму включено елементи еволюційних алгоритмів, а саме, обрання батьківських пар та створення нового покоління.

*Обрання батьків* проводиться за наступними стратегіями: panmixia, inbreeding, outbreeding.

При формування покоління нащадків зручним, достатнім та універсальним є метод *багаточковогого схрещування*. Схрещування також доповнено фазою мутації. Рекомендовані оператори – *інверсія та крокова*.

Після проходження всіх етапів алгоритму проєктувальник отримує впорядковану «елітну» частину вищого класу, яка розглядається як розв'язок задачі. Звісно, акцентна увага приділяється лідеру.

Було проведено тестові експериментів для наладки та підтвердження працездатності роботи програми алгоритму, та ряд прикладних числових експериментів щодо раціонального проєктування коробок передач. Числові експерименти показали можливість використання алгоритму «Пошук мобільністю» для раціонального проєктування трьохвальних коробок передач та дали якісні результати. У експериментах були отримані значення критеріїв об'єктів, що якісніші від прототипів на 3-10%. Також у ході числових експериментів з розширеними діапазонами обмежень на змінні проєктування були отримані набори параметрів проєктування, що відповідають перспективним трьохвальним коробкам передач.

#### IV. ВИСНОВКИ

1. Розглянуто актуальність поставленої задачі та доведено необхідність використання метаевристичних методів для її розв'язання.

2. Записані цільові функції та обмеження. Цільові функції для міжосьової відстані, довжини та маси КП дають змогу зменшити відповідні показники. Обмеження, накладені на змінні проєктування, дозволяють раціонально окреслити простір пошуку та повністю характеризують усі зв'язки конструкції, геометрії та міцності коробки передач.

3. Для розв'язання задачі було використано метаевристичний алгоритм «Пошук мобільністю». На етапі проведення тестових випробувань алгоритм показав вищу ефективність, ніж стандартні та модифіковані еволюційні алгоритми.

4. Результати розрахунків на прикладі коробки передач підтверджують коректність математичної моделі розв'язання задачі оптимізації: знайдені менші значення масогабаритних показників КП відносно прототипу при виконанні умов міцності для основних елементів КП.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Клакович Л. М., Левицька С. М. *Теорія алгоритмів: Навчальний посібник. Друге видання, доповнене*. Львів, Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2015. 161 с.
- [2] Бондаренко О. В., Устиненко О. В., Сериков В. І. Метаевристичні алгоритми. Метафори-стратегії (Оглядова стаття). *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. Машинознавство та САПР: зб. наук. пр.* Харків, НТУ "ХПІ", 2023, № 1, с. 3–18.
- [3] Гіденс Е. *Соціологія*. Київ, Основа, 1999. 726 с.
- [4] Сірий Є.В. *Соціологія: загальна теорія та методологія, історія розвитку, спеціальні та галузеві теорії*. Київ, Атіка, 2009. 492 с.
- [5] Макеев С., Симончук О. Класова структура сучасного суспільства. *Вектори змін українського суспільства*. Київ, Інститут соціології НАН України, 2014, с. 110–134.
- [6] О. В. Бондаренко. Новий метаевристичний алгоритм «Пошук мобільністю». *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. Машинознавство та САПР: зб. наук. пр.* Харків, НТУ "ХПІ", 2023, № 2, с. 10–17.

# Зносостійкість вакуумних йонно-плазмових покриттів у контакті з деревиною

Володимир Голубець, Олександр Гасій

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

## I. Вступ

У сучасній деревообробній промисловості спостерігається тенденція до зростання швидкостей різання, підвищення вартості інструменту, що призводить до збільшення витрачання дефіцитних матеріалів і коштів на одиницю випущеної продукції. У зв'язку з цим актуальним є питання підвищення фізико-механічних властивостей інструменту, в першу чергу його твердості, зносостійкості, теплостійкості та міцності. Перспективним напрямом підвищення зносостійкості інструментальних матеріалів є їх поверхневе зміцнення, зокрема, методом конденсації речовини в умовах йонного бомбардування (метод КІБ).

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Йонно-плазмові покриття, що наносяться методом КІБ, знайшли широке застосування для підвищення стійкості металорізального інструменту. На сьогоднішній день детально вивчено вплив параметрів процесу КІБ на властивості покриттів і основи, а також працездатність інструментів з покриттями на основі хімічних сполук TiN, ZrN, Mo<sub>2</sub>N, TiC та іншими. Дослідженню фізики процесу йонно-плазмового напилення та впливу покриттів на експлуатаційні характеристики матеріалів присвячено велику кількість наукових праць, зокрема, роботи [1-3]. В той же час слід відзначити, що більшість досліджень спрямовано на оптимізацію електрофізичних характеристик процесу та вдосконалення конструкції установок; недостатньо уваги приділяється питанню застосування цих покриттів для зміцнення дереворізального інструменту.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Дослідження зносостійкості інструментальних сталей в умовах тертя ковзання в контакті з деревиною представляють значний інтерес з точки зору виявлення можливості застосування йонно-плазмових покриттів для поверхневого зміцнення дереворізального інструменту. В якості об'єкта дослідження обрано вакуумне йонно-плазмове покриття з TiN, яке широко використовується для зміцнення металорізального інструменту. Дане покриття одержували при дотримванні таких режимних параметрів [4]:

- матеріал випаровувача – Ti; струм дуги – 100 А; робочий газ – N<sub>2</sub>; тиск газу – 0,4...0,5 Па; опорна напруга – 150 В; температура підкладки – 450 °С; товщина покриття – 5...6 мкм.

Оцінку триботехнічних властивостей покриття здійснено для пари тертя „сталевий індентор - деревина (сосна)” на трибометрі ТМ-90. Циліндричний індентор діаметром 5 мм з конусом при вершині з радіусом заокруглення 0,5 мм виготовлено зі сталі Р6М5. Зразки розміром 32x16x5 мм виготовлено з деревини сосни в сухому стані (вологість 12 %) з поздовжнім і поперечним розміщенням волокон. Основні механічні характеристики зразків:

- границя міцності при розтягу: вздовж волокон – 103 МПа; поперек волокон – 5,4 МПа;

- ударна в'язкість –  $4,1 \cdot 10^4$  Дж/м<sup>2</sup>;

- статична твердість поверхні: торцевої – 28 МПа; радіальної - 23,5 МПа; тангенціальної - 24,5 МПа.

Випробування на трибометрі проведено при навантаженні 0,3 Н і зворотньо-поступальному русі індентора з середньою швидкістю 0,02 м/с. Силу тертя фіксували при разовому проході індентора ( $F_{mp_1}$ ) і після шести проходів ( $F_{mp_6}$ ). Навантаження індентора здійснювали спеціальними тягарцями через навантажувальний пристрій, що дозволяє ступенево змінювати навантаження від 0,02 Н до 0,5 Н. Зразок з деревини був закріплений на плоских пружинах, величина деформації яких пропорційна силі тертя. Результати досліджень, які свідчать про вплив йонно-плазмового покриття на триботехнічні показники інструментальної сталі Р6М5, наведено в таблиці 1 [5].

Встановлено, що зі збільшенням часу випробувань сила тертя як під час руху вздовж волокон, так і поперек них зростає, тобто  $F_{mp_1} < F_{mp_6}$ . Очевидно, що зі збільшенням часу випробувань відбувається неодноразова деформація зруйнованих волокон, внаслідок цього слід від індентора, який має вигляд лунки (рис. 1), набуває сідлоподібної форми. Ця форма сприяє проникненню індентора на певну глибину (на даній породі деревини вона становить 0,014...0,016 мм). Глибину лунок визначали після переміщення індентора по деревині протягом 1 хв вздовж волокон. Краї лунки гладкі. Твердість покриття з TiN різко зростає в порівнянні з незміцненою сталлю Р6М5 (7600...7800 проти 2200...2500 МПа), що зменшує значення сили тертя, при цьому глибина лунки збільшується до 0,023...0,025 мм, тобто на 60%.

Таблиця 1 - Результати триботехнічних досліджень пари тертя „сталь – суха деревина (сосна)” ( $V = 0,02$  м/с;  $P = 0,3$  Н)

| Матеріал індентора і тип покриття | Напрямок волокон        |            |            |            |
|-----------------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|
|                                   | вздовж                  |            | поперек    |            |
|                                   | Сила тертя $F_{тр}$ , Н |            |            |            |
|                                   | $F_{mp_1}$              | $F_{mp_6}$ | $F_{mp_1}$ | $F_{mp_6}$ |
| Сталь Р6М5                        | 0,07                    | 0,075      | 0,08       | 0,085      |
| Р6М5 + TiN                        | 0,035                   | 0,04       | 0,04       | 0,045      |

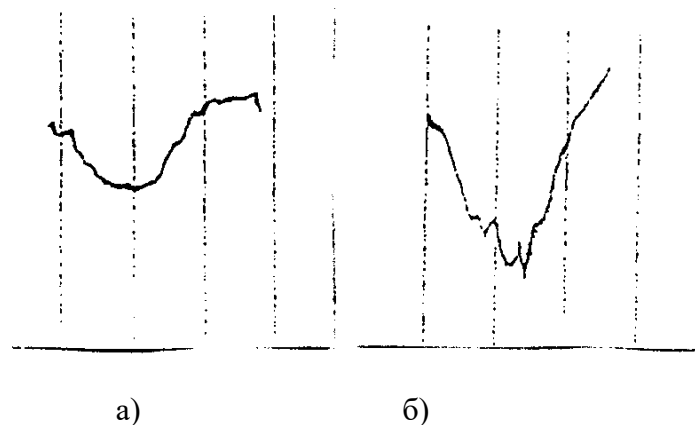


Рисунок 1 - Профілограми зразків деревини після випробувань протягом 1 хв при  $P = 0,3$  Н і  $V = 0,02$  м/с (матеріал зразка – сосна, напрям волокон – вздовж): а – тертя в парі зі сталлю Р6М5; б – в парі зі сталлю Р6М5 + TiN. Вертикальне збільшення – 1000, горизонтальне – 20

#### IV. ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень свідчать про те, що напилення вакуумних йонно-плазмових покриттів на інструментальні сталі підвищують їх триботехнічні характеристики під час роботи в контактi з деревиною, і цю технологію доцільно використовувати для зміцнення дереворізального інструменту.

#### Література

- [1] Андреев А. А., Саблев Л. П., Шулаев В. М., Григорьев С. Н. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. 236 с.
- [2] Азаренков Н. А., Соболев О. В., Погребняк А. Д., Береснев В. М. Инженерия вакуумно-плазменных покрытий: монография. Харьков: ХНУ им. В. Н. Каразина, 2011. 342 с.
- [3] Малихін С. В. Механізми формування та процеси еволюції структури, напруженого стану і властивостей квазі- та нанокристалічних плівок металів під впливом зовнішніх чинників: автореф. дис. ... д-ра фіз.-мат. наук: 01.04.07. Харків, 2008. 34 с.
- [4] Голубець В.М. Захисні властивості і зносостійкість вакуумних йонно-плазмових покриттів / В.М. Голубець, О.Б. Гасій, Я.В. Щуйко – Львів: ВТФ „Друксервіс”, 2008. – 103 с.
- [5] Вплив виду нанесеного покриття на триботехнічні властивості ріжучого інструменту / Білоус О.В., Голубець В.М., Юга О.Й., Гасій О.Б. // Наук.вісник: Проблеми деревообробки на рубежі ХХІ століття: наука, освіта, технології. – Львів: Престижінформ. – 1999. – Вип. 9.5. – С. 239-245.

# Удосконалення конструкції гвинтового живильника з метою підвищення ефективності

Ірина Казак

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м.Київ, Україна*

## I. ВСТУП

Термін живильник позначає, призначений для рівномірного живлення різних приймальних пристроїв: конвеєрів, дробарок, формувальних машин. Розрізняють такі живильники за принципом дії робочих органів:

- тяглові (стрічкові, пластинчасті, ланцюгові);
- обертові (гвинтові, тарілчасті, барабанні й лопатеві);
- хитні (плунжерні, маятникові й карткові) [1, с. 101].

Для переміщення легко сипучих матеріалів застосовують гвинтові живильники, які транспортують як дрібно кускові так і пилоподібні шматки з невеликою твердістю і абразивністю.

Гвинтові живильники набули широкого застосування у промисловості будівельних матеріалів для рівномірної подачі таких матеріалів, як глина, цемент, вапно, пісок і ін. Продуктивність гвинтових живильників складає від 20-30 м<sup>3</sup>/год з довжиною транспортування до 1,5-2 м.

Перевагами гвинтових живильників являються: конструктивна простота, легкість в обслуговуванні та транспортуванні, продуктивність та герметичність.

Недоліками є швидке зношування гвинта і лотка, виникнення ущільнень між витками шнеку, недоцільність транспортування липких і високоабразивних речовин, невисока точність дозування дрібносипучого матеріалу, перевантаження.

## II. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведено літературно-патентний огляд способів підвищення ефективності роботи гвинтових живильників, які розглядаються дослідниками.

В роботі [2] запропонована конструкція кулькової запобіжної муфти гвинтового живильника, що дозволяє суттєво зменшити динамічні навантаження на привід, особливо в процесі осьового відведення заклиненого гвинтового живильника. Така конструкція значно підвищує її експлуатаційні характеристики.

В роботі [3] коефіцієнт заповнення за даними А.М. Григор'єва коливається від 0,25 до 0,75 і залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, що транспортується й параметрів гвинтового живильника. Автори роботи вважають, що максимальне значення коефіцієнта заповнення можна визначати тільки експериментальним шляхом.

В роботі [4] автори розглядають оптимальні конструкції гнучких гвинтових конвеєрів з розширеними функціональними та експлуатаційними характеристиками. У таких транспортерів гнучкий гвинтовий робочий орган вільно (без опор) розташовується в еластичному кожусі та по його внутрішній поверхні переміщає матеріал в зону вивантаження, що є основною їх перевагою.

В роботі [5] пропонується конструкція шнекового живильника з запобіжним пристроєм у вигляді муфти з пружним елементом, який запобігає перевантаженню транспортера сипких матеріалів та сприяє підвищенню продуктивності і відповідно ефективності його роботи.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В результаті літературно-патентного огляду на основі прототипу [5] обрана конструкція гвинтового живильника з запобіжним пристроєм, яка призначена для усунення перевантаження транспортера заклинюванню, що призводить до повної зупинки транспортера, а це в свою чергу приводить до зниження ефективності його роботи.

Розглянемо обрану удосконалену конструкцію гвинтового живильника з запобіжним пристроєм (Рис.1) [5].

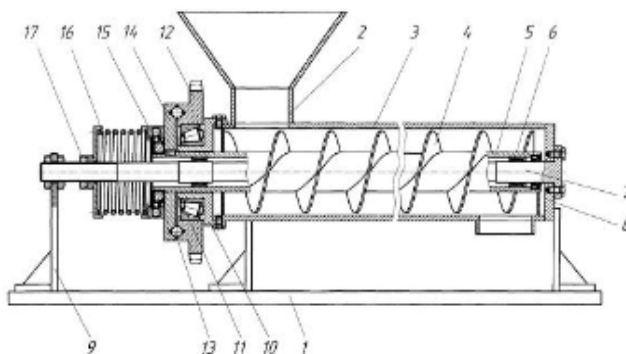


Рисунок 1 – Удосконалена конструкція гвинтового живильника з запобіжним пристроєм:

1 – рама; 2 – бункер; 3 – корпус транспортера; 4 – гвинтовий живильник; 5 – труба;  
6 – підшипник; 7 – суцільний вал; 8 – правий фланець; 9 – стойка; 10 – лівий фланець; 11 –  
радіально-упорний підшипник; 12 – ведуча півмуфта; 13 – кульки; 14 – півмуфта; 15 – упорний  
підшипник; 16 – пружний елемент; 17 – гайка

Шнековий транспортер із запобіжним пристроєм складається з рами 1, на якій розміщений бункер 2 і корпус транспортера 3. У корпусі транспортера 3 розташований гвинтовий живильник 4, вал якого виконаний у вигляді труби 5. Всередину труби 5 через підшипники 6 встановлено суцільний вал 7. З лівої сторони суцільний вал 7 жорстко закріплений у стійці 9. На лівому фланці 10 через радіально-упорний підшипник 11 встановлений запобіжний пристрій, виконаний у вигляді ведучої півмуфти 12, яка за допомогою кульок 13 взаємозв'язана з веденою півмуфтою 14. Півмуфта 14 жорстко закріплена на трубі 5 живильника 4 і за допомогою упорного підшипника 15 підтиснута пружним елементом 16. За допомогою гайки 17 відбувається регулювання крутного моменту, який передає запобіжний пристрій [5].

Розглянемо принцип роботи шнекового транспортеру із запобіжним пристроєм.

Матеріал завантажується через бункер 2, потім потрапляє в корпус транспортера 3. Далі матеріал переміщується за допомогою гвинтового живильника 4 на основі обертового руху і транспортує його в напрямку вивантаження. Якщо виникає попадання не подрібнених тіл між поверхнею обертання шнека і внутрішньою поверхнею корпусу транспортера 3 виникає заклинювання і зупинка гвинтового живильника 4. При цьому ведуча півмуфта 12 продовжує обертатись та внаслідок чого кульки 13 виходять із зачеплення. В результаті відбувається осьове зміщення веденої півмуфти 14 і відповідно труби живильника 5 з робочою поверхнею та деформування пружного елемента 16. Таким чином забезпечується виведення не подрібнених тіл із зони між поверхнею обертання живильника 4 і корпусом 3. Внаслідок обертання ведучої півмуфти 12 кульки 13 входять у початкове положення за рахунок чого відбувається відновлення робочого стану транспортера [5].

Окремо гвинтовий живильник для запропонованої конструкції з запобіжним пристроєм представлений на рис.2. На рис.2, а наведено поперечний розріз А-А лівої шпонки, на рис.2, б) наведено вид збоку на удосконалений шнек з боку кріплення півмуфти запобіжного пристрою для запобігання заклинювання гвинтового живильника.

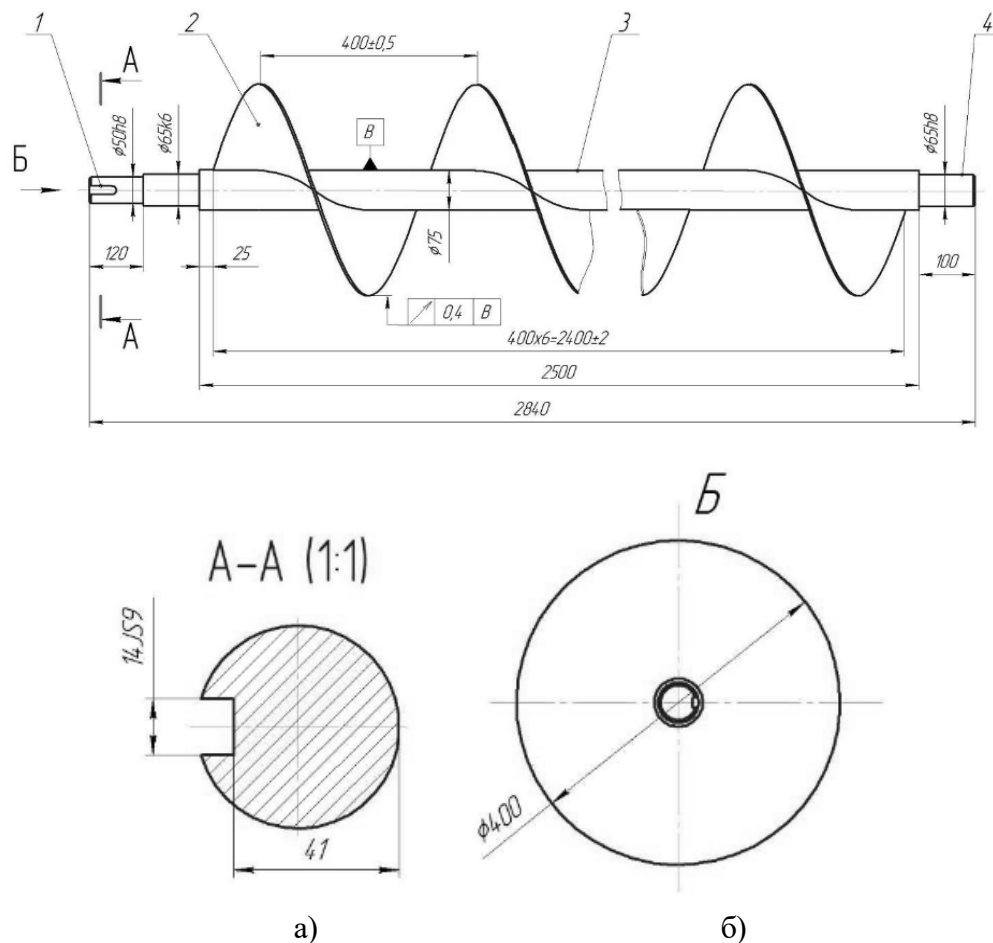


Рисунок 2 – Гвинтовий живильник удосконаленої конструкції з запобіжним пристроєм:  
 а) поперечний розріз А-А лівої шпонки; б) вид збоку на шнек  
 1 – ліва шпонка; 2 – витки; 3 – вал корпус транспортера; 4 –права шпонка

#### IV. ВИСНОВКИ

Запропонована удосконалена конструкція гвинтового живильника з запобіжним пристроєм перешкоджає заклинюванню транспортера і забезпечує автоматичне поновлення роботи та сприяє підвищенню надійності і ефективності його роботи. Така конструкція гвинтового живильника може бути використана для дозування дрібно сипучих матеріалів в різних галузях промисловості.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] І. В. Коваленко, В. В. Малиновський, "Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв" : підручник, Київ, Інрес: Воля, 2005, 264 с.
- [2] Р. Б. Гевко, О. М. Клендій, "Підвищення надійності функціонування гвинтових конвеєрів", *Вісник Харківського технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, Харків, Випуск 114, 2011, С. 168 – 172.
- [3] П. А. Гринчук, В. Л. Куликівський, С.М. Хоменко, "Аналіз шляхів забезпечення завантаження гвинтових конвеєрів", *Збірник тез доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів "Підвищення надійності машин і обладнання"*, Кіровоград: КНТУ, 2013, С.35–36.
- [4] Р. Б. Гевко, М. Р. Гевко, К. В. Павлов, О.М. Павлов, "Секційні гвинтові конвеєри для транспортування сипких сільськогосподарських матеріалів " : монографія, Луцьк, ФОП Мажула Ю.М., 190 с.
- [5] М. І. Шинкарик, О. М. Клендій, А. О. Вітровий, "Шнековий транспортер із запобіжним пристроєм", патент. 62097, Україна, МПК В65G 53/00, № u201101100; заявл. 10.08.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. №15.

# Використання морфологічного аналізу для проєктування устаткування

Іван Радяк, Борис Бакай

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

## I. Вступ

Розроблення сучасного устаткування для різних секторів економіки є вагомим чинником для підвищення продуктивності, зниження витрат та забезпечення конкурентних переваг. Однак, процес проєктування устаткування часто стикається з низкою викликів та невизначеністю [1]. Складність сучасних технічних систем, безліч можливих варіантів та комбінацій функціональних елементів, необхідність врахування різноманітних технічних та економічних аспектів – все це ускладнює пошук оптимальних рішень.

Саме тому інженери постійно шукають нові методи та інструменти, що дозволяють їм ефективно досліджувати простір можливих рішень та генерувати концепції, які відповідають сучасним викликам. Одним з таких інструментів є морфологічний аналіз, який пропонує систематичний та структурований підхід до проєктування устаткування [2]. Метою даної роботи є розгляд можливостей та переваг використання морфологічного аналізу для підвищення ефективності проєктування устаткування, що дозволить розробляти нові та удосконалити існуючі технології заготівлі деревини.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Морфологічний аналіз є потужним інструментом у царині галузевого машинобудування для проєктування устаткування, що дозволяє системно досліджувати простір можливих рішень та генерувати нові концепції устаткування для вирішення прикладних задач. Цей метод базується на принципі декомпозиції складної системи на її основні функціональні елементи та визначення альтернативних варіантів реалізації кожного елемента [3]. Результатом морфологічного аналізу є морфологічна матриця або таблиця, що відображає всі можливі комбінації функціональних елементів та їх варіантів.

Застосування морфологічного аналізу у проєктуванні устаткування має низку переваг. По-перше, він сприяє подоланню психологічної інерції під час проєктування та розширенню горизонту для пошуку раціональних рішень. Методика морфологічного аналізу спрямовує дослідника розглядати нетрадиційні варіанти та виходити за межі звичних варіантів, що може призвести не тільки до удосконалення відомого устаткування, а також до розроблення принципово нових концепцій устаткування. По-друге, цей метод забезпечує систематичний та вичерпний огляд множини можливих рішень, що зменшує ризик пропуску перспективних варіантів. Морфологічна матриця надає структурований огляд можливих комбінацій функціональних елементів, що дозволяє виявити неочікувані синергії та взаємозв'язки між ними.

Морфологічний аналіз за останні десятиліття привернув значну увагу дослідників у різних галузях, включаючи проєктування спеціального устаткування [4]. З'явилися нові підходи до застосування морфологічного методу, розроблено програмні засоби для автоматизації процесу, а також опубліковано численні дослідження, що демонструють ефективність морфологічного аналізу у вирішенні складних інженерно-технічних задач [5].

Одним з ключових напрямків досліджень є розроблення методів оцінки та вибору оптимальних конфігурацій на основі використання морфологічної матриці. Запропоновані методи розрахунку кількості можливих варіантів для кожного класу допомагають у виборі

прийнятних варіантів та їх оцінці за заданими критеріями [4, 5]. Інша низка вчених розглядає морфологічний аналіз як метод вирішення складних проблем, які характеризуються високим ступенем невизначеності та суперечливістю вимог [6, 7]. У публікаціях наголошено на важливості структурованого підходу та прозорості процесу прийняття рішень, що забезпечуються морфологічним аналізом.

Важливим аспектом застосування морфологічного аналізу є розроблення програмного забезпечення, який автоматизує процес побудови морфологічної матриці, оцінює конфігурації та вибір оптимального рішення [7]. Результатом цього напряму роботи є програмні пакети CARMA (Computer-Aided Resource for Morphological Analysis) і CASPER (Computer Aided Scenario and Problem Evaluation Routine), які надають інструменти для проведення морфологічного аналізу та оцінки перехресної узгодженості, розроблення сценаріїв і дослідження стратегій, що допомагає у виявленні несумісних варіантів та зосередженні на найбільш перспективних рішеннях.

Таким чином з'ясовано, що морфологічний аналіз є науково-методологічною базою для вирішення інженерно-технічних задач галузевого машинобудування та може бути використаний як ефективний інструмент для проектування складних систем. Останні результати дослідження зосереджені на розробленні методів оцінювання та вибору оптимальних рішень, а також на створенні програмного забезпечення для автоматизації процесу аналізу.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Процес морфологічного аналізу у проектуванні устаткування розпочинається з визначення ключової проблеми або завдання, що потребує вирішення. Наприклад, це може бути удосконалення відомого устаткування для трелювання деревини, оптимізація устаткування або створення принципово нового типу устаткування. Далі система декомпонується на основні функціональні елементи, які забезпечують виконання поставленого завдання. У роботі розглянуто технологічне устаткування трелювальної машини, яке може бути розділеною на окремі елементи (табл. 1). Як приклад такими елементами можуть бути: механізм навантаження, механізм переміщення, гідравлічної системи для приводу устаткування та система автоматизованого керування операцією.

Таблиця 1 – Результат морфологічного аналізу

| Числові значення елементів та експлуатаційні особливості | Основні функціональні елементи устаткування для трелювання деревини |   |   |                                     |                     |                                     |
|--|---|---|---|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
|  | Рама трелювального трактора   | Передня частина рами трактора / форвардера    | Задня частина рами трактора / форвардера      | Лебідка навісна                     | Причіп трелювальний | Устаткування технологічне           |
| Експлуатаційна висота встановлення лебідки               | До 0,80 м   | Понад 0,80 м                                  | Понад 0,80 м                                  | Понад 0,80 м                        | Понад 0,80 м        | Понад 0,80 м                        |
| Кількість барабанів                                      | Один / два  | Один  | Один  | Один / два                          | Один                | Один / два                          |
| Канатоємність барабана                                   | До 40 м   | Понад 40 м                                    | Понад 40 м                                    | До 40 м                             | До 40 м             | До 100 м                            |
| Призначення та особливості використання лебідки          | Підтрелювання і трелювання деревини                                 | Трелювання деревини; привід для руху по схилу | Трелювання деревини; привід для руху по схилу | Підтрелювання і трелювання деревини | Трелювання деревини | Підтрелювання і трелювання деревини |

Наступним кроком є визначення альтернативних варіантів реалізації кожного функціонального елементу. Це може включати впровадження нової технології, модифікації технічних рішень, а також інші принципово нові підходи. На цьому етапі залучено фахівців з різних галузей знань, щоб забезпечити всебічний аналіз можливих варіантів. Після визначення всіх можливих варіантів сформовано морфологічну матрицю, яка відображає всі комбінації функціональних елементів та їх варіанти.

Аналіз морфологічної матриці дозволив виявити перспективні концепції устаткування та відсіяти нежиттєздатні та неефективні варіанти. Оцінка концепцій може проводитися за різними критеріями, такими як технологічна доцільність, технічна можливість, економічна ефективність, ергономічність та екологічність доцільність тощо. У результаті проведеного морфологічного аналізу встановлено варіанти перспективних концепцій устаткування, які можуть бути детально опрацьовані та реалізовані у вигляді прототипів.

У сучасних умовах морфологічний аналіз може бути доповнений іншими методами, такими як комп'ютерне моделювання, аналіз кінцевих елементів та оптимізаційні алгоритми, що дозволяє підвищити ефективність та точність проектування устаткування.

#### IV. ВИСНОВКИ

Морфологічний аналіз, як інструмент проектування устаткування, пропонує інженерам систематичний шлях до інновацій. Його здатність розкласти складні системи на основні елементи та досліджувати їх варіанти реалізації дозволяє виявити неочевидні рішення, які часто залишаються поза увагою при традиційних підходах. Завдяки морфологічному аналізу інженери можуть подолати стереотипи, розширити свій кругозір та знайти інноваційні шляхи підвищення ефективності, надійності та безпеки устаткування.

Цей метод не тільки сприяє генерації нових ідей, але й забезпечує структурований аналіз можливих рішень, мінімізуючи ризик пропуску перспективних варіантів. Оцінка концепцій за різними критеріями допомагає приймати обґрунтовані рішення, що відповідають технічним та економічним вимогам. Морфологічний аналіз також покращує комунікацію між інженерами та іншими фахівцями, створюючи основу для обговорення та співпраці. Він є важливим інструментом для інженерів, які прагнуть до постійного вдосконалення устаткування та підвищення ефективності виробництва.

Варто зазначити, що морфологічний аналіз є лише одним з інструментів проектування устаткування. Його ефективність значною мірою залежить від кваліфікації та досвіду команди розробників, а також від повноти та достовірності інформації, що використовується для побудови морфологічної матриці.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] B. Bakay, Y. Tsybalyuk and I. Rudko, "Managing a Life Cycle of the Mechanical Engineering Product," in *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 64-67, doi: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929814
- [2] T. Ritchey, "General Morphological Analysis - A general method for non-quantified modelling," presented at the 16th Euro Conference on Operational Analysis, Brussels, Belgium, Jul. 1998. [Online]. Available: <http://www.swemorph.com/pdf/gma.pdf>
- [3] F. Zwicky, *Discovery, Invention, Research Through the Morphological Approach*, Toronto: The Macmillan Company, 1969. p. 276
- [4] A. Goel, L. S. Ganesh, and A. Kaur, "Sustainability integration in the management of construction projects: A morphological analysis of over two decades' research literature," *Journal of Cleaner Production*, vol. 236, p. 117676, Nov. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117676>
- [5] E. Ostertagová, J. Kováč, O. Ostertag, and P. Malega, "Application of Morphological Analysis in the Design of Production Systems," *Procedia Engineering*, vol. 48, pp. 507-512, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.546>
- [6] S. Buzuku and A. Kraslawski, "Optimized morphological analysis in decision-making," in *Advances in Systematic Creativity*, L. Chechurin and M. Collan, Eds., pp. 225-244, Palgrave Macmillan, Cham, 2019. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-78075-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78075-7_14)
- [7] A. Schmid, "Parameter control assisting morphological product conceptualization of multi-technology machine-tools," in *Proc. Int. Conf. Eng. Design (ICED)*, Vancouver, Canada, Aug. 21-25, 2017, vol. 2, pp. 149-158.

# Обґрунтування механічно-пневматичного збирача комах-шкідників пасльонових культур

Володимир Онопа, Дмитро Артеменко

*Центральноукраїнський національний технічний університет  
м. Кропивницький, Україна*

## I. ВСТУП

На сьогоднішній день комахи-шкідники сільськогосподарських культур залишаються однією з найважливіших проблем у світовому сільському господарстві. Згідно з повідомленням Продовольчої та сільськогосподарської організації (ФАО), шкідники щорічно призводять до втрат від 20 до 40 відсотків виробництва сільськогосподарських культур. Економічний збиток від розповсюдження комах-шкідників оцінюється приблизно у 220 мільярдів доларів США на рік, а втрати від інвазивних видів комах складають близько 70 мільярдів доларів США щорічно [1]. У зв'язку з цим сільськогосподарське виробництво використовує широкий арсенал пестицидів для підвищення врожайності, якості і тривалості зберігання культур. Безперервне застосування пестицидів може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям людини: рак, генетичні та респіраторні захворювання, а також може вплинути на розвиток плоду [2]. Отже, у сільському господарстві дуже важливо впроваджувати передові технічні рішення для раннього виявлення комах-шкідників, запобіганню надмірному використанню пестицидів та використанню екологічно чистих методів боротьби з ними. Екологічний захист рослин став необхідністю у сучасному світі, а використання машин для фізичного збору комах-шкідників відображає прагнення до створення екологічно чистої продукції рослинництва. Проблема зниження врожайності пасльонових культур викликана шкідливим впливом колорадських жуків, а низькі показники урожайності цих культур свідчать про необхідність застосування хімічних засобів захисту для збільшення виробництва. Проте використання пестицидів, навіть найбільш безпечних, призводить до забруднення продукції та довкілля залишками хімічних речовин та їх похідних, які можуть бути навіть більш токсичними, ніж самі засоби захисту. Тому використання дезинсекторів різного типу дії у вирощуванні пасльонових культур стає актуальним напрямком для отримання продукції високої якості, включаючи продукти для дієтичного харчування дітей, та сприятиме зменшенню використання пестицидів і їх негативного впливу на навколишнє середовище.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогоднішньому етапі розвитку сільського господарства по всьому світі спостерігається зростання заходів, спрямованих на виробництво екологічно чистої та здорової сільськогосподарської продукції, з виключенням використання хімічних засобів. Одним з основних методів контролю за шкідниками для умов екологічно чистого виробництва є безпосередній їх збір за допомогою механізованих засобів, таких як механічні і пневматичні пристрої, з подальшим їх знищенням [3-5].

Проведений аналіз конструкцій і досліджень машин для збирання комах-шкідників показав [3-7], що в останні роки найчастіше використовуються машини з пневматичною системою збирання, але оскільки в багатьох конструкціях присутні додаткові елементи для примусового струшування комах-шкідників можна стверджувати, що в значній мірі можна перенести основну дію пристрою для збирання на механічну дію на шкідника, а збір і

знищення покласти на пневматичну систему. Оскільки використання самих пневматичних систем як з одним напрямом потоку так із двома різними напрямками не в повній мірі можуть задовольнити збір комах-шкідників різного віку за рахунок їх різних аеродинамічних характеристик, а також при дії повітряних потоків частина шкідників падає на поверхню ґрунту, після чого повертається на рослини. Тому потрібно робити наступні проходи, що може негативно впливати на цілісність самих рослин пасльонових культур. Перспективним напрямом для розробки збирачів комах-шкідників може бути механічно-пневматичний збирач, який механічно збирає шкідників, а пневматично їх транспортує в зону знищення.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На основі проведених експериментальних досліджень, спираючись на раніше проведені роботи [3-5] визначені основні недоліки збиральних пристроїв пневматичного типу для боротьби зі шкідниками. Оскільки більшість конструкцій таких пристроїв мають всмоктувальні щілини то нерівномірний розподіл повітряного потоку в них приводить до неефективного збирання з поверхні рослин шкідників сільськогосподарських культур. Іншим і головним недоліком таких пристроїв є формування декількох потоків які взаємодіючи утворюють наступний технологічний процес - при здуванні шкідників потоком нагнітання вони рухаючись до поверхні ґрунту не встигають всі потрапляти в потоки всмоктування, а більш молоді особи які можуть триматись більш сильно за поверхню листя зовсім не здуваються і залишаються на місці, а це приводить до потреби повторних проходів агрегату і зниження якості обробки. Тому робота над проведенням удосконалення пристроїв для збирання шкідників є актуальною.

Для усунення виявлених недоліків існуючих пристроїв нами запропонована удосконалена конструкція пристрою для збирання комах-шкідників який виконаний тривірневим з робочими елементами на кожному рівні, на верхньому рівні робочий елемент виконаний у вигляді ступеневої поверхні в повздовжньому напрямі з плавними переходами, на середньому рівні робочий елемент виконаний масивом гнучких конічних стрижнів розміщених з перекриттям в вертикальній площині, на нижньому рівні робочий елемент виконаний у вигляді похилого лотка, передня частина якого виконана клиновою, а середня і задня ступінчастою з плавними переходами, сам лоток має висоту, що дорівнює висоті четвертої частини висоти самого пристрою. На рис. 1 наведено схему удосконаленого пристрою для збирання комах-шкідників. Запропонований пристрій для збирання шкідників складається із рамки корпусу 1, верхнього робочого елемента 2, середнього робочого елемента 3, нижнього робочого елемента 4, збиральної щілини лотка 5, забірної камери 6.

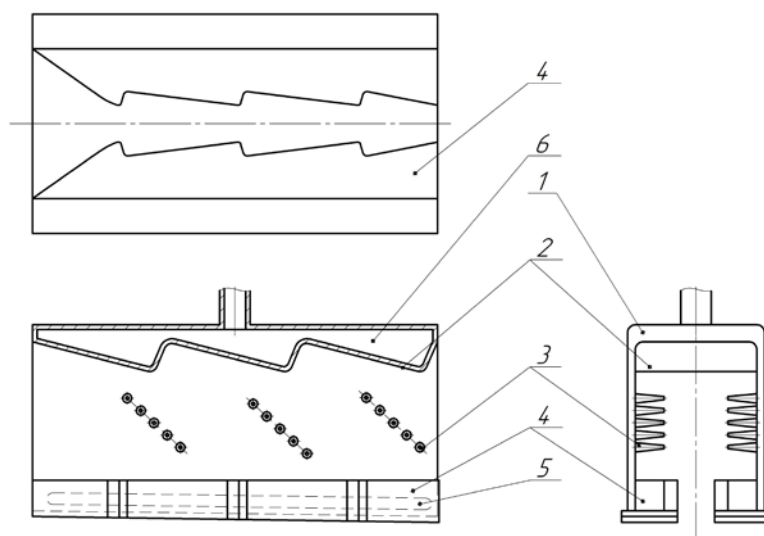


Рисунок 1 – Схематичне зображення механічно-пневматичного пристрою для збирання комах-шкідників

Працює запропонований пристрій для збирання шкідників наступним чином. Під час руху пристрою в рядку рослини потрапляючи в передню його частину стискаються в нижній частині клиновою поверхнею робочого елемента 4 в горизонтальній площині, в той же час під дією верхнього робочого елемента 2 рослини нагинаються в вертикальній площині по напрямку руху викликаючи напруження стебла самої рослини. Після потрапляння верхньої і нижньої частини стебла в переходи робочих поверхонь елементів 2 і 4 відбувається зняття напружень стебла рослини за рахунок чого відбувається ефект струшування, в результаті чого шкідники падають з поверхні рослини в збиральний лоток робочого елемента 4. Розміщені після кожної ступені робочих елементів 2 і 4, гнучкі конічні доочищувачі середнього робочого елемента 3 виконують збиття з листової поверхні стебел шкідників які втрималась після кожної ступені робочих елементів 2 і 4. Через щілину 5 в нижній частині лотка робочого елемента 4 пристрою за рахунок повітряного потоку всмоктування через забірну камеру 6 рамки зібрані шкідники транспортуються в місце знищення.

Всі три робочі елементи пристрою відіграють комплексний вплив на процес збирання шкідників. Нами була розроблена математична модель роботи верхнього робочого елемента пристрою для збирання шкідників і встановлено, що кут атаки робочої поверхні пристрою лежить в межах від 10 до 60°. Ефективність запропонованої конструкції нового пристрою забезпечується підвищенням впливом механічної дії на рослину пасльонових культур без її ушкодження і виключенням втримання шкідника на всіх рівнях по висоті рослини, максимальним збиранням шкідників за один прохід пристрою.

#### IV. ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел дав можливість встановити, що комахи-шкідники значною мірою призводять до серйозних втрат у світовому виробництві сільськогосподарської продукції. Пестицидний обробіток є основним методом боротьби з ними, проте така практика призводить до забруднення навколишнього середовища, загрози здоров'ю людини та підвищення ризику захворювань. У зв'язку з цим велика увага приділяється розробці екологічно безпечних методів боротьби. Одним з найбільш ефективних методів є фізичне збирання комах-шкідників пристроями різної дії.

2. Запропонована математична модель верхнього робочого елемента пристрою для збирання комах-шкідників, який призначений для ефективного збирання шкідників пасльонових культур за допомогою механічно-пневматичного методу. Теоретично обґрунтовано, що кут атаки робочої поверхні пристрою який лежить в межах від 10 до 60°.

3. З теоретичної точки зору показано, що робота пристрою забезпечується підвищенням впливом механічної дії на рослину пасльонових культур без її ушкодження і виключенням втримання шкідника на всіх рівнях по висоті рослини, максимальним збиранням шкідників за один прохід пристрою.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020) New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. <http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/>
- [2] S.T. Narendaran, S.N. Meyyanathan, B. Babu. Review of pesticide residue analysis in fruits and vegetables. Pre-treatment, extraction and detection techniques. *Food Res. Int.*, 133 (2020).
- [3] Vincent C. and G. Boiteau. Pneumatic control of agricultural insect pests. // *Physical Control Methods in Plant Protection/La Lutte Physique en hytoprotection*, eds. C. Vincent, B. Panneton and F. Fleurat-Lessard, New York: Springer-Verlag, 2001.– P. 270–281.
- [4] Khelifi, M., Laguë C., Lacasse B. Pneumatic control of insects in plant protection. // *Physical control methods in plant protection*.– C. Vincent, B. Panneton et F. Fleurat-Lessard, eds. Springer-Verlag Berlin /INRA, Paris, 2001.– P. 261–269.
- [5] Mohammadali Haddad Derafshi. Design and Construction of a Pneumatic-thermal Machine for Controlling Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) // *Journal of Applied Sciences*. – Vol. 6. – 2006.– N 4.– P. 919–925.
- [6] В.А. Онопа, Д.Ю. Артеменко, Р.В. Бакал. Теоретичне обґрунтування зони дії пристрою для збирання шкідників пасльонових культур. *Scientific Journal «ScienceRise» №10(51)2018* – С. 19-23.
- [7] В.А. Онопа, Д.Ю. Артеменко. Результати експериментальних досліджень пневматичного збирання шкідників сільськогосподарських культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, вип. 52. ЦНТУ - 2022. С. 32-40.

# Аналіз торсіонних валів легких броньованих машин для ідентифікації можливих напрямків оптимізації з підвищення їх міцності та довговічності

Олена Зінченко

*Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”  
м. Харків, Україна*

## I. ВСТУП

Метою даного дослідження є проведення аналізу торсіонних валів (ТВ) легких броньованих машин (ЛБМ) для ідентифікації можливих напрямків оптимізації з підвищення міцності та довговічності цих елементів транспортного засобу (ТЗ). Дослідження різних аспектів ТВ, особливо в контексті їх використання в ЛБМ, є важливою задачею. Це обумовлено постійним розвитком сучасної бронетехніки та зростанням вимог до її міцності та ефективності. ТВ, в якості ключових компонентів трансмісії, є важливими частинами, які несуть на собі значну частину механічного навантаження. Їх роль полягає у передачі обертального руху та впливає на загальну продуктивність і стійкість ТЗ. Вдосконалення їхньої конструкції може призвести до значних покращень у сферах міцності та довговічності.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз та оптимізація ТВ ЛБМ – це багатоаспектна задача, яка вимагає взаємодії різних інженерних дисциплін. Щоб створити ТВ, які будуть відповідати високим стандартам міцності та довговічності, необхідно задіяти знання з області матеріалознавства, геометричного проектування, програмного моделювання, тестування прототипів та інші. Аналіз напружень та деформацій дає можливість інженерам визначити, як матеріал витримує навантаження, та уникнути можливих вад чи втрат ефективності. Таким чином, вибір матеріалу з високою міцністю та стійкістю до втоми є першочерговим завданням. Вагомим чинником, що сприяє виникненню відмов при роботі, є висока навантаженість ТВ, а також наявність технологічних і монтажних дефектів, зумовлених процесом виготовлення, транспортуванням, неправильним зберіганням і складанням. Дрібні поверхневі тріщини, що виникають у процесі механічної обробки, розміри яких можуть бути нижчі межі чутливості використовуваних методів неруйнівного контролю, є джерелом високої концентрації напруження. Мікротріщини сприяють прискореній ініціації втомних ушкоджень і, як наслідок, руйнуванню ТВ. На теперішній час оцінка ресурсної міцності ТВ на етапі проектування здійснюється як перевірочний розрахунок у рамках класичного підходу, заснованого на теорії опору втоми металів і сплавів. Натепер немає сформульованої методики прогнозування ресурсу ТВ транспортних машин, у якій враховувалися б характер експлуатаційного навантаження підвісок, а також вплив можливих технологічних і монтажних дефектів на процес появи тріщин. Досвід експлуатації свідчить, що втомні тріщини утворюються у області найбільшої концентрації напруження – галтелів і шліцьових канавок. Для підвищення динамічних властивостей, навантаження, що сприймається, і максимального кута закручування, торсіон піддають заневолюванню. Технологічна операція заневолювання полягає у закручуванні гарячого торсіону за межу його пружного стану і витримці у такому положенні деякий час. При цьому у поверхневих шарах виникають пластичні деформації, а в серцевині – пружні. Після розвантаження торсіону серцевина, прагнучи звільнитися від напруження і повернутися у початковий стан, зустрічає опір

пластично деформованого поверхневого шару [1, 2]. Залишкове напруження, отримане при заневолюванні, дає можливість підвищити робоче навантаження і кут закручування торсіону в експлуатації. Здійснений аналіз літератури свідчить про необхідність розвитку розрахункових моделей напружено-деформованого стану (НДС) ТВ, зокрема, у частині врахування умов контактної взаємодії у зоні шліцевих головок зі спряженими деталями. У низці робіт [3] зазначено, що проблемними зонами, крім стебла ТВ, у багатьох випадках є галтельний перехід та головка ТВ. Оскільки ці частини підлягають дії контактного навантаження від спряжених деталей (шліцеві муфти), то розподіл контактних сил чинить суттєвий вплив на НДС головки ТВ та галтельного переходу, а, відповідно, і на міцність ТВ у цілому. Разом із тим цей вплив є взаємопов'язаним: пластичні деформації, що виникають у ТВ, впливають на його контактну взаємодію зі спряженою деталлю, і – навпаки. Аналіз досліджень та стану проєктування, технологічної підготовки виробництва та виготовлення ТВ систем підресорювання ЛБМ дає підстави вважати, що при проєктуванні ТВ необхідно враховувати повну множину важливих чинників на усіх етапах їх життєвого циклу, на відміну від частинного та спрощеного урахування у попередніх дослідників.

### III. АНАЛІЗ ТОРСІОННИХ ВАЛІВ

У результаті дослідження було здійснено комплексний аналіз ТВ з метою виявлення можливих напрямків оптимізації з підвищення їхньої міцності та довговічності. Детальне дослідження ТВ дало можливість виявити найефективніші шляхи вдосконалення конструкції та використання ТВ для забезпечення високих показників продуктивності та стійкості броньованих ТЗ у сучасних умовах [4]. У сучасному світі ЛБМ стають все більше важливим компонентом транспортного середовища, особливо в умовах зростаючого попиту на безпеку та мобільність. Ефективне функціонування таких машин залежить від багатьох факторів, серед яких ключове значення має конструкція та якість використовуваних ТВ. Аналіз та оптимізація цих валів стають невід'ємною частиною розробки, спрямованої на поліпшення міцності та довговічності ЛБМ. Для досягнення цієї мети, важливим етапом є вибір відповідних матеріалів для конструкції ТВ. Застосування високоміцних сплавів чи спеціальних композитних матеріалів може значно поліпшити міцність та легкість вала, забезпечуючи оптимальний баланс між функціональністю та тривалістю служби. Оптимізація геометрії ТВ відіграє ключову роль у досягненні високих технічних характеристик. Врахування точок концентрації напружень, аналіз навантажень та вплив зовнішніх факторів дозволяє створювати оптимальні форми та геометрію вала, спроєктовані для максимальної міцності та довговічності. Застосування програм для комп'ютерного моделювання та симуляції грає важливу роль у розробці ТВ. Це дає можливість віртуально тестувати різні конструкції та матеріали, визначати оптимальні параметри та прогнозувати поведінку вала при різних умовах навантаження. Важливим аспектом є також врахування факторів безпеки. Застосування коефіцієнтів безпеки допомагає забезпечити не тільки стандартні умови експлуатації, але і непередбачувані ситуації, які можуть виникнути під час екстремальних умов. Завершальним етапом є розробка прототипів та їх інтенсивне тестування в реальних умовах. Цей етап дає можливість перевірити реальну ефективність та міцність оптимізованого ТВ, виявити можливі недоліки та внести необхідні корективи.

Для проведення всебічного аналізу ТВ ЛБМ були задіяні різноманітні методи. Аналітичний метод виявив потенційні слабкі місця при визначенні оптимальних параметрів, зокрема, при визначенні точок концентрації напруження та інших можливих проблем. За допомогою статистичного методу були визначені критичні параметри та їх взаємодія, що дало можливість розробити стратегії оптимізації для досягнення найкращих результатів у виробництві ТВ. Метод дедукції допоміг у формуванні загальних принципів та підходів до оптимізації ТВ. Визначення причинно-наслідкових зв'язків між параметрами вала та його характеристиками дало можливість врахувати вплив різних факторів на його функціональність. Використовуючи функціональний метод, були визначені параметри та конфігурації ТВ, спрямовані на досягнення максимальної міцності та оптимальних робочих

характеристик. Функціональний метод дав можливість врахувати вплив різних факторів, таких як навантаження, швидкість обертання та температурні умови, на роботу ТВ. Завдяки використанню методу синтезу були розроблені нові концепції та стратегії оптимізації ТВ. Цей метод дав можливість поєднувати різноманітні аспекти, такі як властивості матеріалу, геометричні параметри, фактори безпеки та використання новітніх технологій для досягнення оптимальних результатів. Визначення основних характеристик ТВ та їх властивостей з урахуванням різноманітних факторів, що впливають на їх функціонування, є можливим завдяки застосуванню методу класифікації. Вивчення великої кількості даних за допомогою цього методу дало можливість створити систему класифікації, яка враховує різні типи валів, матеріали, геометрію та умови експлуатації. Метод індукції використовувався для породження нових ідей та концепцій, спрямованих на вдосконалення ТВ у ЛБМ. Цей метод дав можливість здобути нові уявлення про потенційні напрямки вдосконалення геометрії, матеріалів та технологій виготовлення валів. Використання методу узагальнення в контексті дослідження ТВ ЛБМ дало можливість систематизувати та узагальнити отримані результати для визначення обраного шляху оптимізації. Цей метод дав можливість провести детальне вивчення великого обсягу даних та врахувати різноманітні впливи факторів на ТВ.

#### IV. ВИСНОВКИ

Таким чином, аналіз та оптимізація ТВ для ЛБМ – це багатоаспектна задача, яка розкриває безліч можливостей для підвищення їх міцності та довговічності з урахуванням низки факторів. Інтегруючи різні аспекти, інженери можуть створити ТВ, що відповідають високим стандартам міцності та довговічності, забезпечуючи оптимальну продуктивність ЛБМ. Оптимізація ТВ, у свою чергу, включає в себе використання передових інженерних методів, які дають можливість зменшити масу вала при збереженні необхідної міцності та стійкості. Застосування новітніх матеріалів, таких як композити чи високоміцні сплави, також може внести значний внесок у покращення характеристик ТВ. Аналіз та оптимізація є важливими кроками у проектуванні максимально міцних та довговічних броньованих машин при високому рівні безпеки для їхніх екіпажів. Це допомагає вдосконалити конструкцію та функціональність ТЗ в умовах необхідного середовища. При розробці нового покоління тактичних автомобілів слід враховувати важливість протимінного захисту при оптимізації ТВ. Також необхідно враховувати такий аспект, як зменшення вібрації корпусу ЛБМ та необхідність зростання максимальної швидкості руху ТЗ, що також складає важливий напрямок дослідження. Додаткові напрямки дослідження включають вивчення взаємодії ТВ з іншими елементами трансмісійної системи та впливу різних умов експлуатації, таких як температурні коливання чи висока вологість, на їхню роботу. Крім того, слід провести аналіз взаємодії ТВ із зовнішніми факторами, наприклад, впливом ударів чи вибухів, для розробки технологій підвищеної стійкості та безпеки в екстремальних умовах використання.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Горелов В.А. и др. Методика прогнозирования ресурса торсионных валов систем поддресоривания транспортных машин // Труды НГТУ им. ПЕ Алексева. – 2019. – №. 4 (127). - С. 125-137., doi:[10.46960/1816-210x\\_2019\\_4\\_125](https://doi.org/10.46960/1816-210x_2019_4_125)
- [2] Сысоева В.С., Маслова Н.С., Чумак Г.А., Цыпкина Е.Д. Высоконагруженные торсионные валы гусеничных машин. М.: ЦНИИИнформации, 1980. 152 с.
- [3] Ткачук М.М., Грабовський А.В., Заворотній А.В., Куценко С.В., Саверська М.С., Ключков І.Є., Зінченко О.І., Ткачук М.А., Назаренко С.О., Пінчук Н.В., Марусенко С.І. Чисельне моделювання пружно-пластичного деформування торсионних валів систем підресорювання транспортних засобів із урахуванням контактної взаємодії // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія: Машинознавство та САПР, №1, 2022. С. 91-114., doi: <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2022.1.10>
- [4] Krakhmalyov, O., Klitnoy, V., Zinchenko, O., Brusentsev, V., & Shelestova, A. (2024). Analysis and optimization of torsion shafts in the context of improving the strength and durability of a light armoured vehicle. *Machinery & Energetics*, 15(1), 65-75, doi: <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2024.65>

# Методика проєктування різенакатних роликів для забезпечення параметрів точності та міцності різей

Тарас Четвержук, Ольга Залета

*Луцький національний технічний університет  
м. Луцьк, Україна*

## I. ВСТУП

Зовнішні різі у механоскладальному виробництві будь-якого промислового підприємства виготовляються методами пластичного деформування (накатуванням) та різанням з використанням різних способів. Накатування зовнішніх різей є одним з найбільш прогресивних високопродуктивних технологічних методів, що дозволяє отримувати різі високої якості та підвищеної міцності.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Накатування різей та інших гвинтових профілів є одним з прогресивних методів механічної обробки. Серед різноманіття способів метод накатування різей різенакатними роликками (головками) тангенціального типу відносно новий і мало досліджений. Перші практичні кроки щодо запровадження цього способу у виробництво відносяться до 50-60 років ХХ століття [1]. Опубліковані роботи на той час мали описовий характер конструкцій різьбонакатних головок моделей РГ-4, РГ-9, але вже тоді з'явилися перші практичні рекомендації щодо здійснення процесу тангенціального накатуванням різей і розрахунку діаметрів роликів. Проте внаслідок відсутності чітких науково обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження, поширення у промисловості цей спосіб не отримав. Останнім часом у зв'язку з інтенсивним розвитком верстатобудівної та інструментальної промисловості, а також у зв'язку з дослідженнями, що проводяться, як у нашій країні, так і за кордоном спосіб тангенціального накатування різей різенакатними роликками знаходить все більше застосування у виробництві [2].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Процес накатування залежно від конструкції деталі може здійснюватися на різному устаткуванні: як на спеціальних різенакатних верстатах, так і на універсальних верстатах з використанням різного технологічного оснащення та конструкцій різенакатного інструменту. Процес накочування різей (рис. 1, а) відбувається при поступовому зближенні накатних роликів (рис. 2, а) та обкочуванні ними заготовки. В результаті відбувається видавлювання матеріалу заготовки з поверхневих шарів у впадини витків різьблення роликів. Процес продовжується або до повного заповнення витків різьблення роликів (при замкнутому контурі профілю інструменту), або до отримання повного профілю різі на деталі (під час роботи роликів з відкритим контуром).

Таким чином, при накатуванні різей роликками відбувається пластичне деформування зовнішнього шару заготовки, яке викликає зміну форми зовнішніх волокон металу, еквідистантного профілю різьблення, при цьому волокна металу заготовки не перерізаються і процес накатування відбувається без зняття стружки. Завдяки деформації волокон металу різь виходить міцнішою. Крім того, поверхня різі виходить ущільненою та наклепанною.

Накатана різь в порівнянні з нарізаною має збільшену втомну міцність (до 30%). При накатуванні різі замість процесу різання здійснюється процес, близький до прокатування.



Рисунок 1. Процес накатування зовнішньої різі (а), різенакатні ролики (б)

Для виготовлення роликів рекомендується використовувати сталі X12M, X12Ф1, X6ВФ та інших, тобто сталі з високою прокалюваністю та з мінімальними об'ємними змінами після термообробки. Процес накатування різі здійснюється радіальною подачею за рахунок збільшення діаметра профілю різі на забірній частині роликів. Існують такі види накатування: зі зрізаним профілем різі та з повнопрофільною обробкою. Зі зростанням наукового та технічного прогресу точність та якість виготовлення роликів дозволяє виконувати затилування на західній та вихідній частинах по спіралі Архімеда без відхилень від профілю.

Затилувальні ролики застосовуються в умовах автоматичного утворення різей. Тому при незмінній міжцентровій відстані його конструкція повинна забезпечити не тільки накатування різі, але і завантаження в зону оброблення та відведення заготовки після утворення різі. Для накатування різі на периферії ролика виконуються три ділянки: забірня, калібруюча і вихідна (рис. 2).

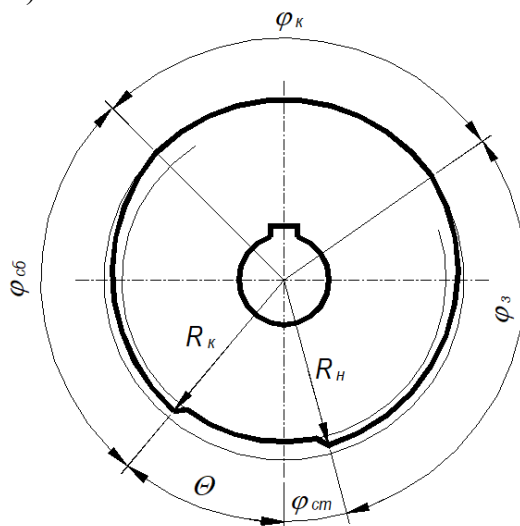


Рисунок 2. Робоча частина різенакатного ролика

Для забезпечення попадання заготовки в зону накатки у ролик виконуються спеціальні пази: 1. Забірня частина роликів виконується по спіралі Архімеда по зовнішньому, середньому та внутрішньому діаметрам з повним профілем з тими ж параметрами, що й циліндричний ролик. 2. Калібруюча частина ролика виконана з діаметрами, рівними відповідним зовнішньому, середньому та внутрішньому діаметрам циліндричного ролика. 3.

Вихідна (скидаюча) частина виконується по спіралі Архімеда, як і забірна частина, по всій висоті профілю різи.

Правильний розрахунок всіх ділянок ролика, дуже впливає на продуктивність процесу накатування. Від основних ділянок забірної та калібруючої ділянок залежать не тільки продуктивність процесу, але точність і якість різи, яка виготовляється таким методом.

#### IV. ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи розроблено рекомендації з проектування різенкатних роликів, які дають змогу вибрати потрібну конструкцію та спроектувати й розробити конструкторську документацію для виготовлення даного виду інструменту залежно від параметрів самої різи. Наведено принцип подачі заготовок у зону накатування різи та відведення після накочування. Дослідження креслень показало сталість розподілу західної (60%), калібруючої (30%) і вихідної (5%) частин різенкатних роликів.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Кирилович В.А., Мельничук П.П., Яновський В.А. Основи технологій обробки поверхонь деталей машин: Підручник. – Житомир: ЖДТУ, 2017. –266 с.
- [2] Kukielka, L. Kukielka: Modelling the contact problem for example rolling processes of the trapezoidal and round threads, 15 – 16 May 2008, Sopot, POLAND.
- [3] Halchuk T. N., Povstyanoy O. Yu., Bembenek M., Redko R. G., Chetverzhuk T. I., Polinkevych R. M. (2023). Impact of technological system's characteristics on the machining accuracy of bearing rings. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 10(1), pp. A22-A30, doi: 10.21272/jes.2023.10(1).a4
- [4] R. Redko, O. Povstyanoy, R. Polinkevich, T. Chetverzhuk, O. Zaleta. Investigation of Cutting Force During Boring of Screw Non-rigid Machine Parts./ *Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті»* – Луцьк: ЛНТУ, 2023. – Випуск 1(20). – С.27-34, doi:<https://doi.org/10.36910/automash.v1i20.1030>.

# Шляхи підвищення контактної міцності циліндричних прямозубцевих передач

Олександр Устиненко<sup>1</sup>, Нікіта Левін<sup>1</sup>, Станіслав Черельов<sup>1</sup>,  
Олексій Бондаренко<sup>1</sup>, Роман Протасов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"  
м. Харків, Україна

<sup>2</sup>Словацький технічний університет у Братиславі,  
м. Братислава, Словаччина

## I. ВСТУП

У машинобудуванні широко застосовують силові зубчасті передачі, тому підвищення їхньої навантажувальної здатності з одночасним поліпшенням масогабаритних характеристик є актуальною науково-практичною задачею. Але традиційні евольвентні передачі, незважаючи на відносну простоту геометрії та виготовлення, мають двоопуклий контакт в зачепленні та, як наслідок, обмежену контактну міцність зубців.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На наш час існує декілька шляхів розв'язання цієї задачі. Серед них найбільш поширеним (виключаючи шляхи поліпшення властивостей та підвищення твердості поверхневого шару матеріалів) є застосування зачеплень з опукло-увігнутих контактом (ОУК) зубців [1]. Вони забезпечують суттєве зниження контактних напружень, але мають і недоліки, а саме: технологічні складності виготовлення ріжучого обкатного інструмента; висока чутливість роботи зачеплень до похибок міжосьової відстані.

Також існує інший шлях підвищення навантажувальної здатності зубчастих передач за критерієм контактної міцності. Він базується на використанні евольвентного зачеплення, яке має геометричні параметри, що забезпечують сумарний коефіцієнт торцевого перекриття  $\varepsilon_\alpha$  більш, ніж 2 (так зване HCR-зачеплення) [2]. У цьому випадку одна пара зубців передає лише частину потужності. Для цього збільшують робочу висоту зубців шляхом застосування нестандартних вихідних контурів зі збільшеними коефіцієнтами висоти головки та ніжки, а також використовують зменшені кути профілю вихідного контуру, наприклад  $14,5^\circ$ .

Але обидва типи передач так і не набули широкого впровадження у світовому машинобудуванні. Одна із причин полягає в тому, що для таких зачеплень досить не існує чіткої системи призначення параметрів, при яких забезпечується суттєве підвищення їхньої міцності та витривалості у порівнянні з традиційними.

Одним з перспективних напрямів на шляху вирішення цього питання є визначення основних параметрів зачеплення методами математичної оптимізації. Варіюючи цими параметрами з урахуванням конструктивних, геометричних та технологічних обмежень, ми маємо можливість отримати передачу з мінімальними контактними напруженнями (мінімальні габарити та маса). Тому метою дослідження є розробка методів оптимального проєктування циліндричних прямозубцевих передач з ОУК та евольвентних HCR передач за критерієм мінімальних контактних напружень.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Серед різноманітних видів передач з ОУК для подальших досліджень обрані С-С зачеплення, що запропоновані М. Бошанські та М. Верешем [3]. Опукло-увігнутий профіль зубця у цих передачах створюється по попередньо заданій лінії зачеплення.

Критерій оптимальності для обох випадків: контактні напруження повинні приймати мінімально можливе значення при виконанні усіх конструктивних, геометро-кінематичних та технологічних обмежень, тобто цільова функція має вигляд:

$$F_{\sigma} = \sigma_H \rightarrow \min. \quad (1)$$

Контактні напруження  $\sigma_H$ , МПа, для випадку початкового дотику тіл по лінії,

$$\sigma_H = 0,418 Z_{\varepsilon} \sqrt{\frac{F_n E_H}{b_w \rho_H}}, \quad (2)$$

де  $\rho_H = (\rho_1 \rho_2) / (\rho_2 \pm \rho_1)$  – приведений радіус кривизни в контакті поверхонь;  $E_H$  – приведений модуль пружності матеріалу;  $F_n$  – нормальне зусилля у зачепленні;  $b_w$  – робоча ширина зубця;  $Z_{\varepsilon}$  – коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній. Для передач з ОУК  $Z_{\varepsilon} \approx 1$ ; для HCR передач  $Z_{\varepsilon} = \sqrt{K_{H\alpha} / [\varepsilon_{\alpha}]}$ , де  $K_{H\alpha}$  – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубцями;  $[\varepsilon_{\alpha}]$  – ціла частина  $\varepsilon_{\alpha}$ .

Змінними проектування для С-С передач обрано параметри, які безпосередньо впливають на радіуси кривизни профілів та, відповідно, на контактні напруження. Це кут зачеплення в полюсі  $\alpha_c$ ; радіуси кривизни верхньої та нижньої частин лінії зачеплення  $r_{kh}$  та  $r_{kd}$ .

Змінними проектування для HCR передач обрано параметри, які безпосередньо впливають на величину коефіцієнта торцевого перекриття  $\varepsilon_{\alpha}$ . Це коефіцієнти висоти головки зубців вихідних контурів шестерні та колеса  $h_{a1}^*, h_{a2}^*$ ; кут профілю вихідного контуру  $\alpha$ ; коефіцієнт зміщення вихідного контуру шестерні  $x_1$ .

Також для обох задач сформовані системи числових та функціональних обмежень на змінні проектування. Вони враховують конструктивні, геометро-кінематичні та технологічні характеристики зубчастих зачеплень, а також показники контактної та згинальної міцності.

У якості методу розв'язання задачі обрано метод зондування простору параметрів, де у якості пробних точок в одиничному багатомірному кубі використовуються точки ЛПт-послідовності [4]. Метод дає змогу оперувати значною кількістю параметрів – до 51, та забезпечує достатньо велику кількість рівномірно-розподілених пробних точок – до  $2^{20}$ .

Розроблено загальну схему алгоритму розв'язання задачі оптимізації передач для обох випадків. Він поєднує математичну модель, обмеження на змінні проектування та метод оптимізації з раціональною послідовністю перевірки обмежень, а також з аналізом і обробкою отриманих результатів. При необхідності він дає змогу виконати практичне оптимальне проектування передачі з конкретними конструктивними параметрами та умовами роботи. Все це є його беззаперечною перевагою.

#### IV. ВИСНОВКИ

Таким чином, виконано постановку, розв'язання та програмну реалізацію оптимізаційної задачі для двох видів зачеплень. У подальшому планується провести тестові та перевіірочні розрахунки з метою підтвердження і оцінки отриманих теоретичних результатів, а також запропонувати варіанти С-С та HCR передач із підвищеною контактною міцністю.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Radzevich P. Stephen. *High-Conformal gearing. Kinematics and Geometry*. CRC Pres, 2016. 349 p.
- [2] Milan Rackov. *Optimization of HCR Gearing Geometry from Scuffing Point of View. PhD Thesis*. Bratislava, 2014. 103 p.
- [3] Vereš, M., Bošanský, M., Gaduš, J. *Theory of Convex-Concave and plane cylindrical gearing*. STU, Bratislava, Slovakia, 2006. 180 p.
- [4] I. Sobol', D. Asotsky, A. Kreinin, S. Kucherenko. Construction and Comparison of High-Dimensional Sobol' Generators. *Wilmott Journal*, 2011, Nov, pp. 64–79.

СЕКЦІЯ 4



# ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

# Highly efficient energy supply system with a cogeneration heat pump installations in the scheme of the plant

Olga Ostapenko

*Vinnytsia National Technical University  
Vinnytsia, Ukraine*

Piotr Olczak

*The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences  
Kraków, Poland*

Yaroslav Poprotskyi

*Academy of Technical Sciences of Ukraine  
Ivano-Frankivsk, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

Energy supply systems (ESS) based on cogeneration heat pump installations (CHPI) can become important and reliable sources of energy supply, which will provide high efficiency indicators of energy transformations, increase energy security and ensure reliability of energy supply [1 - 5]. The use of natural and industrial low-temperature heat sources in heat pump installations will allow to attract heat from renewable energy sources and secondary energy resources into the energy balance of enterprises.

## II. ANALYSIS OF INVESTIGATIONS AND PUBLICATIONS

In a number of our scientific studies [1 – 5], the main principles of the synthesis of energy supply systems with cogeneration heat pump installations and methodical bases for comprehensive evaluation of the efficiency of these systems according to energy, ecological, economic and generalized dimensionless criteria are outlined.

## III. PRESENTATION OF THE MATERIAL

In our study, the application of a highly efficient energy supply system based on cogeneration and heat pump installations is proposed in order to increase the efficiency of heat and electric energy generation in the thermal scheme of the boiler house of the plant for the production of concentrated juices. It is planned to use the low-temperature heat of natural energy resources (water from a well) for the operation of the heat pump installation. The cogeneration drive of the heat pump installation will be supplied from the gas piston engine-generator, with the use of heat from the cogeneration drive in the utilization equipment and the inclusion of this heat in the scheme of the enterprise. The energy supply system with using cogeneration heat pump installations will allow to provide the own needs of the plant and part of consumers in thermal and electrical energy with high conversion rates of energy. The use of such energy supply systems becomes especially relevant, taking into account the constant increase in the cost of traditional fuel and energy resources and generated electrical energy. Performance indicators of the energy supply system with cogeneration heat pump installations for three modes of operation are modelled using specialized programs [6 – 7] and summarized in Table 1. As seen from Table 1, the use in the thermal scheme of the plant the ESS based on cogeneration heat pump installations using natural low-temperature heat of underground water from the well will ensure the production of additional thermal and electrical energy with high values of the energy conversion efficiency index, which are 3,53...4,28.

Table 1 – Efficiency indicators of ESS with CHPI for operating modes of the thermal scheme of the plant for the production of concentrated juices

| Indicator   | CHPI operation mode in ESS |        |        |
|---|----------------------------|--------|--------|
|   | 8                          | 10     | 15     |
| Temperature of water from the well, °C                    | 8                          | 10     | 15     |
| CHPI coefficient of performance                           | 3,53                       | 4,10   | 4,28   |
| Heat capacity of CHPI condenser, kW                       | 501,54                     | 501,54 | 501,54 |
| Electrical capacity of CHPI, kW                           | 229,61                     | 187,94 | 175,78 |
| Heat capacity of cogeneration drive utilizers, kW         | 309,52                     | 268,39 | 250,79 |
| Total heat capacity of CHPI, kW                           | 811,06                     | 769,93 | 752,33 |
| The value of thermal power savings from the use of ESS, % | 6,856                      | 6,508  | 6,361  |

As seen from Table 1, the application of the proposed ESS with CHPI in the thermal scheme of the boiler house of the plant for the production of concentrated juices will ensure the saving of thermal power in the volume 6,361...6,856% depending on operation mode.

#### IV. CONCLUSIONS

Our study proposed and evaluated the effectiveness of a highly efficient energy supply system based on cogeneration and heat pump installations to increase the efficiency of thermal and electrical energy production in the thermal scheme of the boiler house of the plant for the production of concentrated juices. The ESS with using CHPI will allow to provide the own needs of the plant and part of consumers in thermal and electrical energy with high conversion rates of energy. The use of such ESS becomes especially relevant, taking into account the constant increase in the cost of traditional fuel and energy resources and generated electrical energy. The use in the thermal scheme of the plant the ESS based on CHPI using natural low-temperature heat of underground water from the well will ensure the production of additional thermal and electrical energy with high values of the energy conversion efficiency index, which are 3,53...4,28. The application of the proposed ESS with CHPI in the thermal scheme of the boiler house of the plant will ensure the saving of thermal power in the volume 6,361...6,856% depending on operation mode. The use of ESS based on CHPI will ensure high efficiency indicators of energy transformations, increase energy security and ensure reliability of energy supply. The use of a natural low-temperature heat source in CHPI will allow to attract heat from renewable energy sources to the energy balance of the enterprise, as well as to use the heat of secondary energy resources of CHPI.

#### REFERENCES

- [1] Kryzia, D.; Kuta, M.; Matuszewska, D.; Olczak, P. Analysis of the potential for gas micro-cogeneration development in Poland using the Monte Carlo method. *Energies* 2020, 13, 3140.
- [2] Matuszewska, D.; Kuta, M.; Górski, J. Cogeneration - Development and prospect in Polish energy sector. *E3S Web Conf.* 2017, 14, 01021, doi:10.1051/e3sconf/20171401021.
- [3] Ostapenko, O. (2019). Study of energy-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations, using the heat of the industrial and natural sources, in industry and municipal heat power branch of Ukraine. *Social and Legal Aspects of the Development of Civil Society Institutions. Part I*, (pp. 292 – 308). Warsaw: Institute of European Integration. Bmt Eridia.
- [4] Ostapenko, O. (2020). Estimation of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations in Ukraine, in the concepts of green logistics and sustainable development. *Institutional Development Mechanism Of The Financial System Of The National Economy*. (pp. 52 – 66). Batumi: Publishing House “Kalmosani”.
- [5] Ostapenko O. (2020) Estimation of efficiency of energy- and resource-saving heat pump technologies in Ukraine, in the concepts of Green Logistics and Sustainable Development. *Modern Approaches to Knowledge Management Development*, (pp. 174 – 186). Ljubljana: Visoka šola za poslovne vede.
- [6] HP FAT Calculator Programme-2023. URL: <https://www.dti.dk/specialists/heat-pumps-hp-fat/39679>.
- [7] SOLKANE Refrigerants 8. URL: <https://solkane-refrigerants.software.informer.com/8.0>.

# Methods selection and research results of the porous structure of copper as a matrix for conductive composite

Nadiia Hablovska, Tetiana Pavlenko, Maryna Kononenko,  
Bohdan Hablovskyi

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
Ivano-Frankivsk, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

The rapid development of electrical engineering, power engineering, electromechanics, and other related fields compels scientists to work on inventing new materials with better properties. In our case, we will focus on materials that have low contact resistance in the contact zone and high electrodynamic stability, which reduces the development of electrodynamic forces and so on [1].

These properties can be achieved by creating contacts from composite materials that combine the properties of metal-ceramic and liquid-metal contacts. One of the best examples of using such contacts is in the contact assemblies of high-current automatic circuit breakers with arcless current switching.

The main idea is that this material should consist of two parts: a component with a high melting temperature and a filler with a low melting temperature. The component with a high melting temperature should have a porous structure and be subsequently impregnated with the lower melting temperature filler. During the closure of the electrical circuit, the contacts are solid, and the contact occurs only at specific points under the established contact pressure. At the contact points, the current density is high, leading to local heating and melting of the low-melting component of the contact. During melting, the contact area increases, the contact resistance decreases, the current density decreases, and further melting does not occur. Partial or complete solidification of the low-melting component occurs, and the current flows between the contacts through this material [2].

The aim of this work was to create copper samples as a matrix for a conductive composite with the necessary porous structure and to investigate their porosity.

## II. ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

There are several methods for creating porous structures: powder metallurgy method, which involves sintering free-flowing powder or a mixture with the addition of a pore-forming agent; casting method, where metal or alloy is poured into a mold together with a removable pore-forming agent. Obviously, materials obtained by different methods will have different properties and characteristics, so the choice of method depends on the required properties of the final product.

There are also a number of methods for studying porous structures, such as: microphotography investigation method; method of determining the water content of powder material; gas dynamic method; ultrasonic method; tomographic method, and others.

The metallographic method is used to analyze the shape and condition of pores and allows obtaining information about the structure of the porous space and specific data on surface roughness.

The method of assessing the water saturation of powder material is based on analyzing the change in mass of a sample or detail after immersion in distilled water for a certain period and then drying it. However, this method has its limitations, including destructiveness and significant time costs. It is also worth noting that it only allows determining water absorption, and there are no

direct dependencies between water absorption coefficient and porosity.

The gas dynamic method is also used to control porosity parameters, which is based on the process of gas flow through a specially prepared sample with controlled porosity.

Advantages of applying the ultrasonic structuroscopy method are described in [3]. Detection of porosity using this method is based on the speed of ultrasound propagation in the controlled product. Porosity leads to a decrease in the speed of ultrasound in the sample or product. The indisputable advantage is that this is a non-destructive method. However, the result of measuring the ultrasound speed in powder materials is influenced by a significant number of factors, leading to errors. Additional measures are required to reduce errors and ensure reliable control [4].

In turn, the use of a tomograph in the study of material structure porosity allows for a visual assessment of the three-dimensional structure, the arrangement of pores, their size and shape, and other important parameters.

For the investigation of the porous structure of copper as a matrix for a conductive composite, the metallographic method and tomographic method have been chosen.

### III. MAIN MATERIAL PRESENTATION

At this stage of the research, the task was to develop a concept for a new contact material using the principle of changing the substance state at contact points during operation. The goal was to create a matrix with an element that has a high melting temperature - copper - and to investigate its porosity.

Experimental research became possible thanks to the support of the Moving Forward Together mobility grant program, House of Europe. The research was conducted at the Scientific and Educational Laboratory of Nanotechnologies and Materials Technology at the Silesian University of Technology, Gliwice, Poland.

Before pressing, copper powder was mixed with a filler to create pores. The amount of filler and the base material varied widely during the experiments. The samples were sintered in a hydrogen atmosphere. The sintering temperature ranged from 800 to 900 degrees Celsius [5].

The obtained cross-sectional and longitudinal microsections (Fig.1) were analyzed for the presence of pores, and their sizes and shapes were determined.

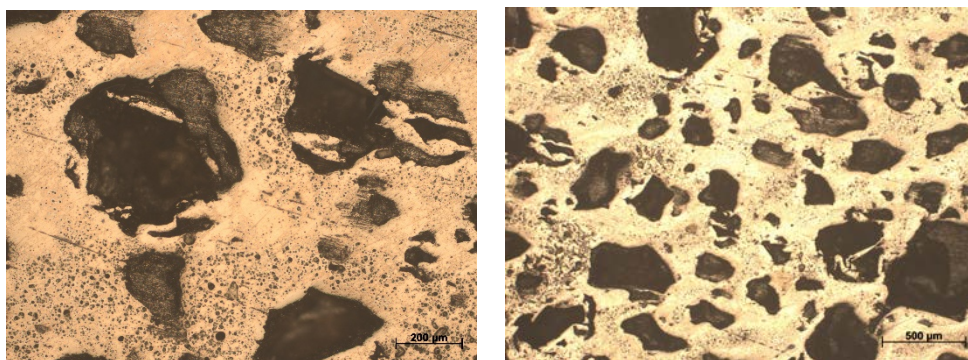


Figure 1 - Microsections of the copper structure with pores

To ensure that the structure has the appropriate porosity and that the distribution of pores is nearly uniform throughout the sample volume, we conducted tomographic studies. The device used for testing: Nikon ST H 225ST 2X tomograph with a rotating anode (Fig. 2).

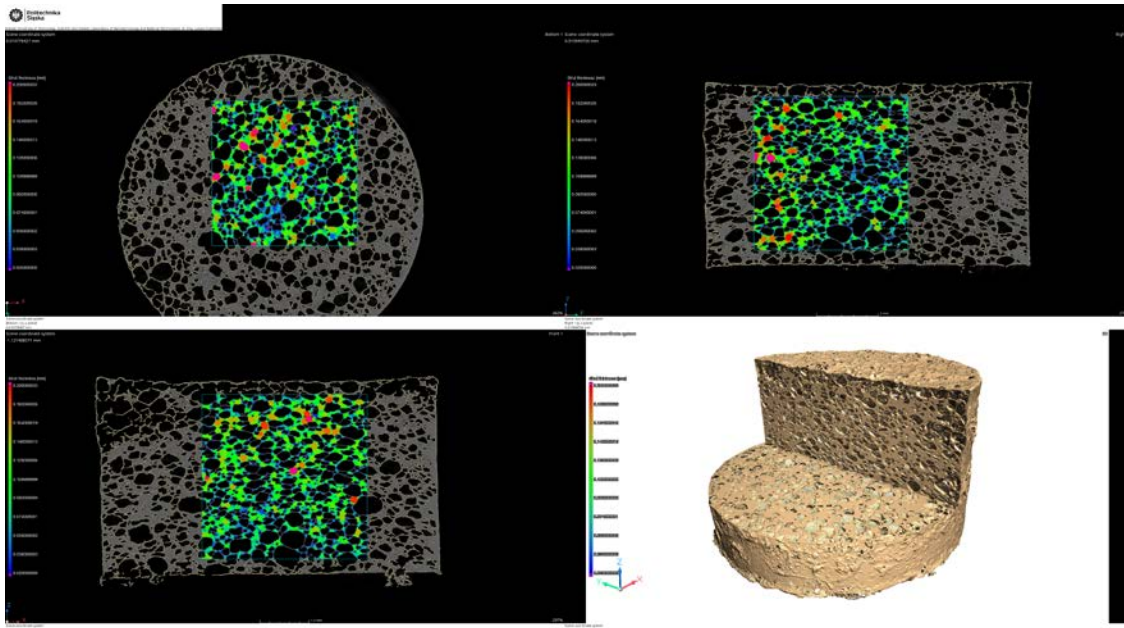


Figure 2 - Distribution of pores within the sample volume, their size, and location

#### IV. CONCLUSIONS

A series of experimental samples were produced and their porosity was analyzed. The distribution of pores is nearly uniform throughout the sample volume. It has been proven that the porosity does not exceed 65% and is sufficient for creating contacts. The next stage of research will focus on selecting the impregnation method for the samples and conducting experimental studies on a set of new contact samples to determine their physical, mechanical, and electrical properties.

#### LITERATURE

- [1] Павленко Тетяна, Габльовська Надія, Шиндак Любов. Аналіз можливості використання псевдорідиннометалевих контактів в електричних апаратах. *International Science Journal of Engineering & Agriculture* Vol. 2, No. 2, 2023, pp. 64-74. doi:10.46299/j.isjea.20230202.06
- [2] Габльовська Н.Я, Павленко Т.П. Перспективні контактні системи автоматичних вимикачів // Міжнародний науковий форум «Нафтогазова енергетика». Збірник тез. Івано-Франківськ. 12-14 жовтня 2023 р. 191-193с.
- [3] Тасаж В.С. Контроль пористості порошкових матеріалів // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», 15-16 травня 2019 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського. С.407-409
- [4] Єременко В.С. Шляхи мінімізації сумарної похибки вимірювання швидкості ультразвуку в матеріалах з неоднорідною структурою / В.С. Єременко, Р.М. Галаган // *Електротехнічні та комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал.* – Одеса. – 2012. – No 06 (82). – С. 39-45.
- [5] Nadiia Hablovska, Tetiana Pavlenko, Grzegorz Matula, Dariusz Łukowiec. Rozwój i badanie nowych materiałów do styków w automatyce wyłączników z bezdugowym przełączaniem prądu // XVI Interdyscyplinarna Konferencja Naukowa TYGIEL 2024 „Interdyscyplinarność kluczem do rozwoju” 21-24 marca 2024r. С.145.

# Прототип пристрою моніторингу стану проводу повітряної лінії електропередавання

Теймураз Кацадзе, Олена Янковська, Кирило Новіков,  
Анастасія Ніколаєва

*Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна*

## I. ВСТУП

Одним з найуразливіших елементів електричних мереж є повітряні лінії електропередавання, які зазнають активного впливу оточуючого середовища. Вітровий натиск та відкладення ожеледі на проводах зумовлюють збільшення навантаження на конструктивні елементи лінії та можуть призвести до обриву проводів та інших аварійних випадків в процесі експлуатації повітряних ліній електропередавання. Тому актуальною науково-технічною задачею залишається проблема моніторингу відкладень ожеледі та стріли провисання проводу з метою попередження виникнення недопустимих ожеледно-вітрових навантажень на проводи повітряних ліній.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На теперішній час відомо багато підходів до методів вимірювання провисання проводу в систем моніторингу стану проводу, які можна поділити на прямі та непрямі [1, 2]. Прямі методи базуються на безпосередньому вимірюванні провисання проводу та відкладень ожеледі із застосуванням лазерних сканерів, засобів комп'ютерного зору, GPS-датчиків тощо. Непрямі методи використовують співвідношення між стрілою провисання проводу та механічними, термічними, електричними або магнітними параметрами повітряної лінії. Такі методи передбачають розрахунок провисання проводу за результатами вимірювань напруження проводу, кута нахилу кривої провисання проводу, робочої температури та струму, різниці атмосферного тиску в точці закріплення проводу та в нижній точці провисання, напруження магнітного поля у поверхні землі під проводом, частоти власних коливань проводу тощо. Один з найпростіших, точних і надійних методів визначення провисання проводу базується на вимірюванні кута нахилу кривої провисання проводу біля точки закріплення на опорі [3–6].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Базова ідея вимірювання відкладень ожеледі та стріли провисання проводу полягає в однозначному співвідношенні між стрілою провисання та кутом нахилу дотичної до кривої провисання проводу поблизу точки закріплення на опорі

$$f = \frac{l}{4} \text{AcrSinh} [\text{Tan} [\varphi]], \quad (1)$$

де  $l$  – довжина прогону;  $f$  – стріла провисання проводу;  $\varphi$  – кут нахилу дотичної до кривої провисання проводу поблизу точки закріплення.

Якщо прилад моніторингу стану проводу додатково оснастити датчиком температури, з'являється можливість організувати контроль відкладень ожеледі на проводах повітряної лінії.

На рис. 1 представлена структурна схема пристрою моніторингу стріли провисання проводу, центральним елементом якої є мікрокомп'ютер, який обробляє інформацію гіроскопічного датчика та датчика температури і передає інформацію про стан проводу в диспетчерський пункт.

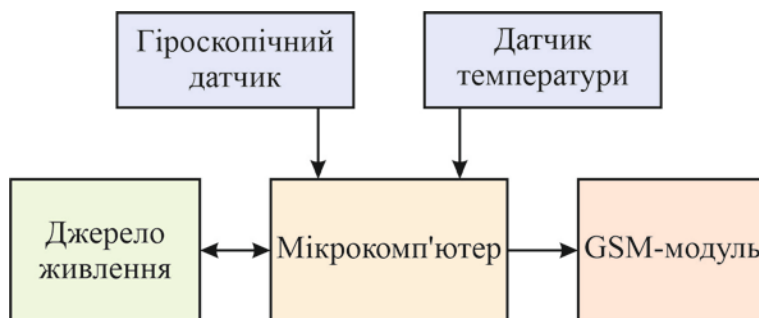


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою моніторингу стану проводу

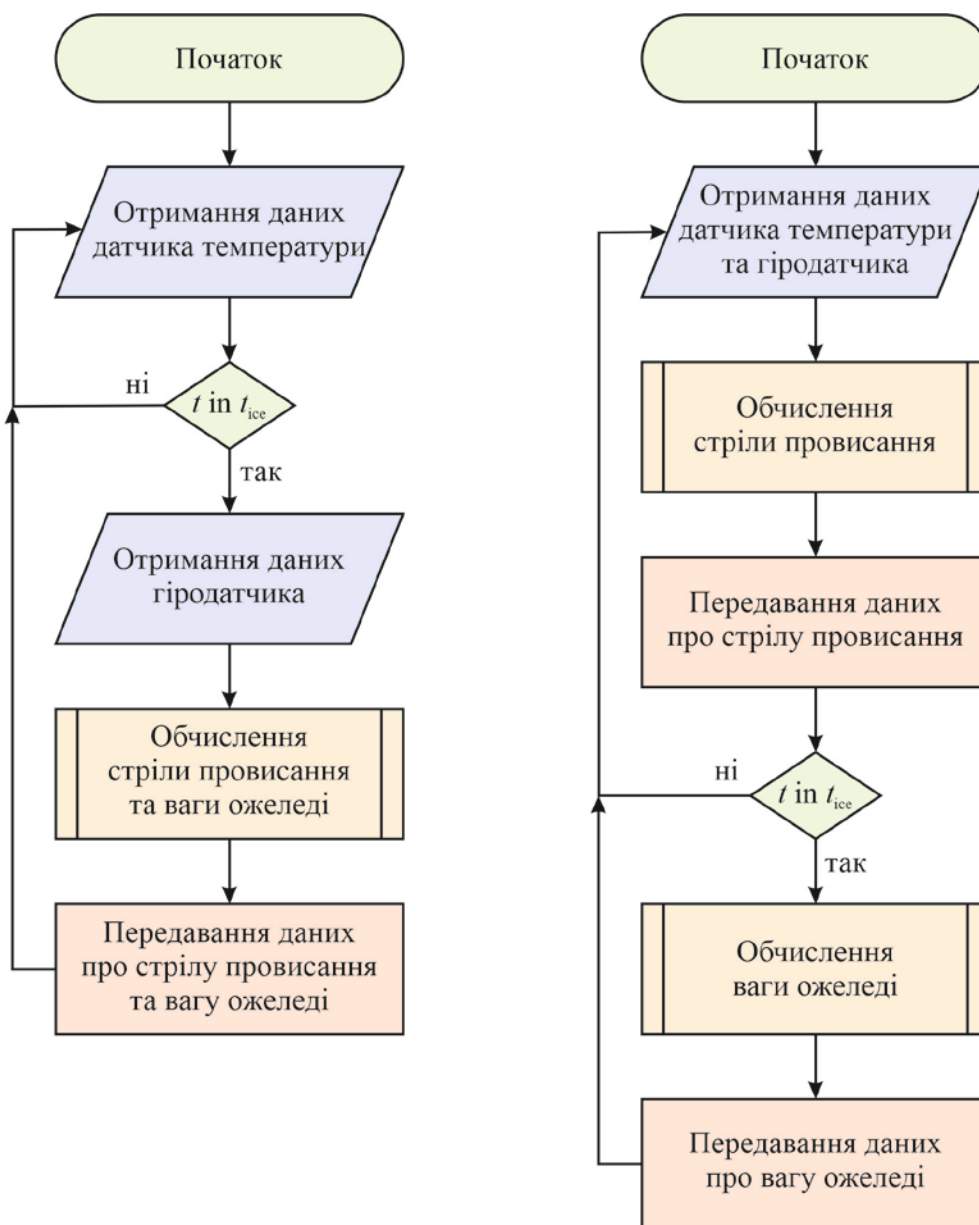


Рисунок 2 – Алгоритми роботи пристрою моніторингу стану проводу

На рис. 2 представлено алгоритми роботи пристрою моніторингу стану проводу, де  $t$  – робоча температура проводу;  $t_{ice}$  – діапазон робочої температури, за якої спостерігаються відкладення ожеледі.

Відповідно до необхідності безперервного моніторингу стріли провисання проводу можна передбачити два алгоритми функціонування пристрою. Перший алгоритм (лівий ланцюг на рис. 2) передбачає роботу пристрою тільки в температурних режимах утворення ожеледі, другий алгоритм (правий ланцюг на рис. 2) передбачає постійний моніторинг стріли провисання проводу та моніторинг відкладень ожеледі за умови, коли температура повітря знаходиться в діапазоні утворення ожеледі.

#### IV. ВИСНОВКИ

1. Жорсткі вимоги до забезпечення надійності передачі та розподілу електричної енергії зумовлюють актуальність проблеми моніторингу стану проводу повітряної лінії для попередження виникнення аварійних ситуацій, обумовлених екстремальними кліматичними навантаженнями та впливами.

2. Серед широкого спектру відомих підходів до вирішення задачі моніторингу стану проводу повітряної лінії вимогам простоти, надійності, точності та економічності відповідає метод вимірювання кута нахилу провисання проводу поблизу точки його закріплення на опорі. Однозначне співвідношення між кутом нахилу та стрілою провисання проводу дозволяє побудувати пристрій моніторингу, основним елементом якого є гіроскопічний датчик. Оснащення приладу датчиком температури дозволяє організувати контроль відкладень ожеледі на проводах.

3. Запропоновані алгоритми роботи пристрою дозволяють організувати безперервний моніторинг стану проводу повітряної лінії, зокрема визначати поточне значення стріли провисання, ваги відкладень ожеледі та вітрового натиску на провід.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Measurement and monitoring of overhead transmission line sag in smart grid: A review / A. U. Mahin et al. IET Generation, Transmission & Distribution. 2021. URL: <https://doi.org/10.1049/gtd2.12271>
- [2] Chen Y., Ding X. A survey of sag monitoring methods for power grid transmission lines. IET Generation, Transmission & Distribution. 2023. URL: <https://doi.org/10.1049/gtd2.12778>
- [3] Research on Sag Online Monitoring System for Power Transmission Wire Based on Tilt Measurement / X. Xiao et al. International Journal of Smart Grid and Clean Energy. 2013. Vol. 2, no. 1. P. 6–11. URL: <https://doi.org/10.12720/sgce.2.1.6-11>
- [4] Research on the Continuous Monitoring of the Sag of Overhead Electricity Transmission Cables Based on the Measurement of their Slope / D. Sacerdoțianu et al. 2018 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE). 2018. P. 1–5.
- [5] Malhara S., Vittal V. Mechanical State Estimation of Overhead Transmission Lines Using Tilt Sensors. IEEE Transactions on Power Systems. 2010. Vol. 25, no. 3. P. 1282–1290. URL: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2009.2038703>
- [6] Power line sag monitor : patent US6205867B1 United States : G01C9/00. Published on 27.03.2003. 12 p.

# Аналіз існуючих контактних систем в електричних апаратах з бездуговою комутацією

Богдан Сметаняк, Надія Габльовська

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## Вступ

Електричні апарати електромеханічного типу застосовують у всіх галузях виробництва, вони виконують функції розподілу електроенергії та захисту під час виникнення аварійних ситуацій [1]. Важливою частиною такого апарату є контактна система. Від неї залежить надійність його роботи.

## Виклад основного матеріалу

В роботі проведено аналіз існуючих контактних систем в електричних апаратах з бездуговою комутацією. Проаналізовано конструкції цих систем, принцип дії та матеріали з яких вони виготовлені.

В якості досліджуваного апарату було обрано конструкції існуючих електричних вимикачів.

Проаналізовано керований вимикач з рідкометалевими контактами. Будова цього вимикача дозволяє плавно збільшувати значення струму в одному контактні та відповідно зменшувати в іншому, що дає змогу добитися бездугової комутації струму. Завдяки шару рідкого металу на контактах, можна уникнути пошкоджень поверхні цих контактів, а також неправильної роботи контактного механізму [2].

До недоліків слід віднести:

- відносно тривалий час, який необхідний для спрацювання перемикача;
- використання токсичних матеріалів;
- необхідність закритого обсягу контактного вузла, що збільшує вагогабаритні розміри.

На наступному етапі досліджень було проаналізовано багатоамперні автоматичні вимикачі з твердими контактами. Контактна система такого типу апаратів складається з дугогасильних і головних електричних контактів розташованих на одному контактотримачі.

Така особливість механізму контактної системи забезпечує виконання функції багатоступеневого розриву електричного кола, без утворення дуги на головних контактах [1].

У головних контактах багатоамперних автоматичних вимикачах застосовуються відносно недугостійкі, але з низьким електричним опором матеріали. Як правило, такі матеріали відрізняються не тільки високою електро-і теплопровідністю, але і невисокою твердістю, що дозволяє зменшити необхідні для досягнення високого електродинамічного зусилля контактні натискання і тим самим - матеріаломісткість.

Надійність роботи контактної системи підвищують також підбором контактного матеріалу, що має підвищену стійкість проти зварювання, так як зі зростанням температури контактів і збільшенням контактного натискання відбувається розм'якшення матеріалу, що призводить до зварювання контактних пар. Збільшення площі контактування в твердих контактах, переважно, забезпечується збільшенням контактного натискання, що зумовлює зменшення масогабаритних характеристик. Таким чином, надійність роботи контактної

системи автоматичного вимикача, значною мірою, визначають технічні взаємозалежні параметри, матеріаломісткість, а також витрата дорогоцінних та дефіцитних металів.

Вирішення існуючих завдань стає можливим з застосуванням нового підходу до використання у контактних вузлах, так званих, псевдорідиннометалевих контактів. Ідея роботи яких полягає у зміні агрегатного стану під дією температури. Отриманий композит [3] для електричних контактів складається з тугоплавкої складової (матриці) і складової з меншою температурою плавлення, яка є нижчою за температуру плавлення струмопровідних елементів електричного апарату. При замиканні електричного кола контакти перебувають у твердому стані, і торкання поверхонь відбувається тільки по окремих точках контактування при встановленому контактному натисканні. Значна густина струму в точках торкання призводить до локального розігріву і плавлення легкоплавкої складової контакту. У момент розплавлення площа контактування збільшується, перехідний опір зменшується разом із зменшенням густини струму, і подальше розплавлення матеріалу не відбувається. Для розмикання та замикання контактів, а також для створення контактного натискання використовується механізм вільного розчеплення.

### ВИСНОВКИ

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що при використанні псевдорідиннометалевих контактів як головних контактів багатоамперного автоматичного вимикача призводить до зменшення контактного натискання і зусилля пружин, що компенсують електродинамічні сили відкидання.

Дослідження з розробки, виготовлення та впровадження у виробництво конструкцій автоматичних вимикачів з проаналізованим композитним матеріалом є доцільною та актуальною задачею.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Павленко Тетяна, Габльовська Надія, Шиндак Любов. Аналіз можливості використання псевдорідиннометалевих контактів в електричних апаратах. *International Science Journal of Engineering & Agriculture* Vol. 2, No. 2, 2023, pp. 64-74. doi:10.46299/j.isjea.20230202.06
- [2] P. Pourmohamadiyan, K. Niayesh, An arcless controlled switch. 19 October 2010
- [3] Dr. Nadiia Hablovska, Prof. Tetiana Pavlenko, Prof. Grzegorz Matula, Dr. Dariusz Łukowiec. Rozwój i badanie nowych materiałów do styków w automatyce wyłączników z bezdugowym przełączaniem prądu // XVI Interdyscyplinarna Konferencja Naukowa TYGIEL 2024 „Interdyscyplinarność kluczem do rozwoju” 21-24 marca 2024r. С.145

# Енергоефективна система охолодження промислових холодильних установок

Сергій Ващишак

*ЗВО Університет Короля Данила  
м. Івано-Франківськ, Україна*

Ірина Ващишак

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I. Вступ

Однією з головних переваг оптимізації систем охолодження є зменшення енергоспоживання, що веде до менших викидів вуглекислого газу та інших забруднюючих речовин в атмосферу. Розробка та впровадження більш екологічно чистих технологій стає важливим кроком для сталого розвитку. Розробка та впровадження енергоефективних та екологічно чистих систем охолодження може слугувати прикладом для інших галузей, як зменшити негативний вплив на довкілля.

Основні вимоги до енергоспоживання побутових холодильних установок вказані у Європейському стандарті EN 16001:2009, який отримав національний статус у більшості країн Європи [1]. В Україні ж вимоги до створення та використання нових енергоефективних споживачів електроенергії, до яких належать і холодильні установки, викладено у державній програмі енергоефективності та розвитку енергетики України. Враховуючи це та реалії україно-російської війни, де постійно руйнуються наші об'єкти енергетичної інфраструктури, внаслідок чого електрогенерація постійно зменшується, питання створення енергоефективних систем, в тому числі холодильних, є доволі актуальним.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Класично, у промислових холодильниках тепло від конденсатора передається навколишньому повітрю шляхом обдування його поверхні вентиляторами. Однак, енергоефективність таких установок є низькою через значне енергоспоживання вентиляторів та поступове засмічення поверхонь конденсаторів. Ефективнішим є застосування випарного охолодження, коли поверхня конденсатора зволожується, а потім обдувається вентилятором. Наприклад, охолодження конденсатора холодильника може здійснюватися зволоженням його поверхні водою з дрібнодисперсійних форсунок із відповідним гідравлічним приводом. Привід форсунок працює в імпульсному режимі та має низьке енергоспоживання. Таке охолодження знижує температуру конденсації та зменшує енергоспоживання холодильного агрегату на 10-15 %. Також для охолодження конденсатора використовуються ежекторні схеми [2]. Однак, внаслідок складності, високої вартості та низької надійності обладнання, такі системи охолодження застосовуються рідко. Збільшити інтенсивність охолодження конденсатора можна також за рахунок випаровування талої води на поверхні компресора та частково на поверхні конденсатора [3]. Таке охолодження є ефективним для побутових холодильників, але для промислових установок його застосовують рідко через високу імовірність корозії обладнання. Ефективність застосування випарного охолодження збільшується, коли зволоження і обдув поверхні конденсатора поєднуються зі зволоженням і

обдувом поверхні компресора. Цей спосіб дозволяє зменшити енергоспоживання холодильної установки на 12-20 %.

Наведені технічні рішення дійсно підвищують ефективність охолодження холодоагенту, але не суттєво знижують енергоспоживання холодильника, бо вентилятори, форсунки та додаткові насоси споживають значну електричну потужність, є великогабаритними та складними в обслуговуванні. Крім того, встановлення таких пристроїв вимагає втручання у конструкцію холодильної установки, що різко знижує її надійність.

Метою дослідження є інтенсифікація тепловідведення від поверхні конденсатора холодильної установки за мінімальних витрат енергії на цей процес, та можливість перетворення надлишкового тепла у електроенергію.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Енергоефективна система охолодження повинна містити швидкодіючу систему відведення тепла від поверхні конденсатора холодильної установки в навколишнє середовище та термоелектричну батарею для забезпечення її автономної роботи.

Перетворення надлишкового тепла, яке виділяється з поверхні конденсатора холодильної установки, в електроенергію доцільно здійснювати багатоплівковими термоелектричними перетворювачами (ТЕП), наприклад, описаними в [4]. Такі ТЕП мають коміркову конструкцію, що дозволяє формувати з них термоелектричні батареї заданої потужності. Перевагою ТЕП є те, що чим більша кількість термопар у плівці, тим при меншому перепаді температур вони починають генерувати термоЕРС. Високі надійність та коефіцієнти термоелектричного перетворення мають ТЕП, виготовлені з матеріалів групи Ag-Cu-Se (AgCuSe – n-тип, Ag<sub>0.4</sub>Cu<sub>1.6</sub>Se – p-тип) [5]. Для розташування на поверхні конденсатора холодильної установки плівкові ТЕП необхідно встановити між тонкими алюмінієвими листами з високою теплопровідністю.

Найефективнішим способом тепловідведення є застосування парокрапельних теплообмінників (теплових трубок та термосифонів) з рідинним та конвекційним охолодженням, які мають ККД на рівні 95-98% та можуть майже миттєво переносити теплові потоки у сотні кіловат. Через велику площу конденсаторів промислових холодильних установок на них можна розмістити значну кількість таких теплообмінників, що інтенсифікує тепловідведення від поверхні конденсатора з високою швидкістю.

Структура енергоефективної системи охолодження наведена на рис. 1. На поверхні конденсатора холодильної установки 1 встановлюється плівкова термоелектрична батарея 2, поверхня якої швидко передає надлишкове тепло конденсатора поверхням теплових трубок 3, закріплених по всій поверхні термоелектричної батареї. Перевагою фітильних теплових трубок є можливість ефективного відведення теплових потоків у різні боки, в тому числі і вниз. Нижні кінці теплових трубок 3 занурені в герметичний колектор 4 з водою. Нагріта тепловими трубками вода з колектора 4 подається в колектор 5 з безфітильними тепловими трубками (термосифонами) 6, розміщеними вертикально, які знаходяться на відкритому просторі. Загальна площа термосифонів 6 є вищою за площу теплових трубок 3, що дає змогу інтенсивно відводити тепло від конденсатора холодильного агрегату у навколишнє середовище шляхом конвекції. Охолоджена процесом тепловідведення у зовнішнє середовище вода знову повертається в колектор 4, де нагрівається тепловими трубками 3, а далі процес повторюється. Чим вища температура холодильника, тим вища швидкість обміну рідиною між колекторами 4 і 5 і, відповідно, вища продуктивність та потужність споживання насосу 7. Живлення насосу 7, який перекачує воду в системі, здійснюється від плівкової термоелектричної батареї через DC-AC перетворювач 8 (інвертор).

Через значну теплопровідність теплових трубок 3 та конвективний теплообмін термосифонів 6 наведена система охолодження конденсатора холодильної установки має високу ефективність тепловідведення та не вимагає додаткового обдуву вентиляторами.

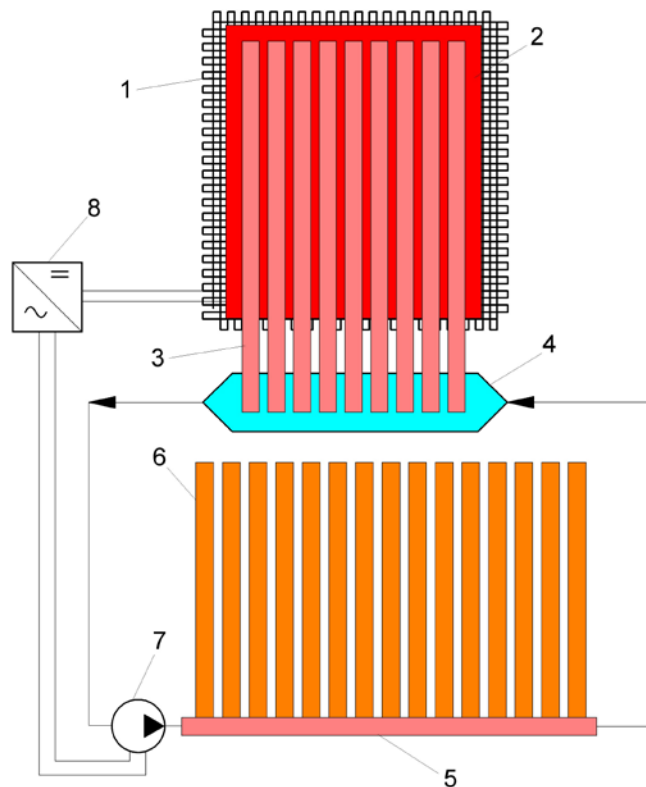


Рисунок 1 – Структурна схема енергоефективної системи охолодження промислового холодильного агрегату

#### IV. ВИСНОВКИ

Описана система охолодження була розрахована для  $W$  – подібного конденсатора холодильної установки типу CVWNY з повітряним охолодженням та холодопродуктивністю 129 кВт. Розрахунок теплових трубок та термосифонів здійснено згідно методики [6]. В результаті розрахунку доведено, що система з 18 теплових трубок з водяним охолодженням, 50 термосифонів з конвективним та насосом, потужністю 200 Вт дасть змогу відмовитись від двох промислових вентиляторів, потужністю 5 кВт, зменшити габарити та шум холодильної установки. Потужність споживання насоса повністю компенсується термоелектричною батареєю, що робить систему охолодження не тільки енергоефективною, але й автономною.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] А. С. Павлова, О. В. Івченко, О. С. Єкименко, Н. В. Дмитрієва. "Стандарти iso серії 50000 – запорука системного підходу до зниження забруднення навколишнього природного середовища" в *II міжнар. наук.-практ. конф. "Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. індустрія 4.0. сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях"*, Суми, 22-26 травня 2017 р., с. 184-185.
- [2] Холодильні установки: Підручник / 6-е вид., перероблене і доповнене / І.Г. Чумака, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський та ін.; За ред. І.Г. Чумака. Одеса: Рефпринтінфо, 2006, 550 с.
- [3] Vorrichtung zum verdunsten von in veiner sammelschale eines Kühlgerätes gesammeltem Abtauwasser und Kühlgerät mit einer solchen Vorrichtung. Patent DE № WO2008/025630, 03.06.2008.
- [4] Thermoelektrischer Generator (TEG). DE 10 2019 007 785 A1. URL: <https://patents.google.com/patent/DE102019007785A1/de>.
- [5] М. В. Тимчишин. "Одержання і дослідження електричних властивостей плівок CuAgSe". *Матеріали для електронної техніки*, № 12, 1997, с.60–64.
- [6] І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, О.В. Попович, С.Р. Доценко. "Удосконалення парокрапельних нагрівачів для системи опалення приміщень та будівель". *Методи та прилади контролю якості*, №39 (2), 2017, с. 68-74.

# Основні складові зростання енергоефективності в Україні

Роман Жесан<sup>1</sup>, Олена Голик<sup>1</sup>, Сергій Кравцов<sup>1</sup>, Валентина Зубенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центральноукраїнський національний технічний університет  
м. Кропивницький, Україна

<sup>2</sup>Херсонський державний аграрно-економічний університет  
м. Херсон (Кропивницький), Україна

## I. ВСТУП

Останніми десятиліттями чітко викристалізувалися загальновідомі світові тенденції щодо постійного зростання потреб людства у енергії, оскільки енергоспоживання пов'язане з усіма видами господарської діяльності людини: з опаленням житла, приготуванням їжі, рухом транспортних засобів, промисловістю, сільськогосподарським виробництвом. [1-3]. Протягом всього періоду свого існування, переважну кількість енергії людство отримувало за допомогою викопних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Але, вже у недалекому досяжному майбутньому, існує реальна й неминуха перспектива виснаження земних ПЕР [2, 3]. Як наслідок, означене вище призводить до стрімкого зростання цін на енергоносії [4]. До того ж, все небезпечніше проявляються негативні процеси, пов'язані із забрудненням енергетичною галуззю навколишнього природного середовища [5, 6]. Це ті глобальні комплексні світові проблеми, які примушують концентрувати увагу на постійному вдосконаленні інженерних технологій, спрямованих на прогрес суспільства, з метою забезпечення подальшого сталого розвитку. Особливо, технологій енергетичних.

Наша держава не може знаходитись осторонь загальносвітових процесів. По-перше, збройна агресія росії проти України й постійні атаки ворога на вітчизняну енергетичну інфраструктуру підтверджують високу значимість надійного і безпечного функціонування енергосистеми країни для мінімізації зовнішнього впливу на функціонування та розвиток держави в цілому. По-друге, власними ПЕР, навіть у мирний час, наша країна була забезпечена приблизно на третину, все інше закуповувалося за кордоном [1, 3, 6]. По-третє, існує нагальна потреба у зниженні енергоємності ВВП, яка, ще з радянських часів, при надлишку дешевих ПЕР, сформувалася суттєво більшою, порівняно з багатьма розвиненими країнами [1]. По-четверте, виконання міжнародних зобов'язань і задекларований державою курс на інтеграцію до ЄС та Євроатлантичних структур примушує орієнтуватись на європейські тенденції, підлаштовуючись під них [1, 7-9]. І, нарешті, по-п'яте, рівень розвитку вітчизняної науки і високий інтелектуальний потенціал наших фахівців дозволяють успішно розв'язувати задачі будь-якої складності.

Одним з головних завдань перспективного розвитку України є на сьогодні зменшення енергоспоживання традиційних ПЕР та впровадження дієвих заходів з енергозбереження й енергоефективних технологій, із залученням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Державна політика зорієнтована на сприяння науковим дослідженням у цій сфері.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженням різних аспектів у сфері енергозбереження та енергоефективності, зокрема з використанням ВДЕ присвячено чимало робіт зарубіжних та вітчизняних науковців.

Серед закордонних публікацій можна, перш за все, виділити фундаментальну працю [10] Твайделла Дж. та Уейра А., у якій досліджено можливості застосування всіх

різновидів відновлюваної енергії. Перспективні форми ВДЕ досліджувались Соренсенем Б. Е., який вивчав інженерні аспекти перетворення, передачі та акумулювання енергії. Альтернативні стійкі енергетичні системи були предметом дослідження Геворкяна П.

Вагомий внесок у науково обґрунтовану енергоефективність із застосуванням ВДЕ належить вітчизняним вченим: Денисенку Г. І., Денисюку С. П., Драганову Б. Х., Каплуно В. В., Кудрі С. О., Мхітаряну Н. М., Шидловському А. К. та ін.

Слід відзначити і науковий доробок вчених Центральноукраїнського національного технічного університету (ЦНТУ), де на кафедрі автоматизації виробничих процесів вже понад 30 років ведуться дослідження, пов'язані з використанням ВДЕ у системах енергопостачання та автоматики. Над цими питаннями у різний час на даній кафедрі працювали (або працюють): Березюк І. А., Волков І. В., Голик О. П., Джума А., Жесан Р. В., Зубенко В. О., Кондратець В. О., Мірошніченко М. С., Пащенко В. Ф., Плешков С. П. та ін.

Проте, незважаючи на чималий обсяг попередніх наукових досліджень щодо різних аспектів застосування ВДЕ, враховуючи стрімкий розвиток науки і техніки та постійно зростаючі вимоги сучасного суспільства до підвищення власних умов комфортного життя, що неможливо забезпечити без належного рівня забезпечення енергією, питання енергозбереження та енергоефективності, із застосуванням ВДЕ, потребують подальшого вивчення.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У схваленій урядом країни Енергетичній стратегії України на період до 2050 року [9] заплановане досягнення Україною вуглецевої нейтральності енергетичного сектору. Місією Енергетичної стратегії заявлене створення умов для сталого розвитку національної економіки через забезпечення доступу до надійних, стійких і сучасних джерел енергії. Зі слів Міністра енергетики України Г. Галуценка, висловлених ним у численних телепрограмах, енергетична стратегія передбачає цілі Європейського зеленого курсу, які, серед іншого, досягатимуться шляхом розвитку сучасної та безпечної атомної генерації, ВДЕ, модернізації та автоматизації систем передачі та розподілу.

Постає задача: провести аналіз обставин і базових елементів, що сприяють вдосконаленню та сучасному розвитку різноманітних технологічних процесів, з точки зору енергозбереження.

Визначальним завданням перспективного розвитку України є на сьогодні зменшення енергоспоживання традиційних ПЕР, енерговитрат на одиницю продукції та впровадження дієвих заходів з енергозбереження й енергоефективних технологій, із залученням ВДЕ. Загалом, потенціал енергоощадності в Україні оцінюється фахівцями близько 45 % від обсягу спожитих ПЕР [1, 3].

На виконання міжнародних зобов'язань, в процесі інтеграції до ЄС, Україна послідовно адаптує національне законодавство до глобальних викликів у сфері енергетичної безпеки. Ще 01.07.1994 р. Верховною Радою України був прийнятий Закон України «Про енергозбереження», який заклав підвалини правових, економічних, соціальних і екологічних основ енергоощадності для всіх підприємств, об'єднань та організацій, розташованих на території України, а також для громадян. Закон витримав понад 10 редакцій і 21.10.2021 р. був замінений на Закон України «Про енергетичну ефективність». В ньому зокрема йдеться про забезпечення енергетичної ефективності під час виробництва, транспортування, передачі, розподілу, постачання та споживання енергії, а його прийняття здійснено з метою виконання зобов'язань із сприяння енергоефективності та енергозбереженню на нормативно-правовому та політичному рівнях, відповідно до стандартів ЄС, за Договором про заснування Енергетичного Співтовариства та Угодою про асоціацію з ЄС та Європейською спільнотою з атомної енергії. Важливими проміжними ланками можна вважати Закони України «Про альтернативні джерела енергії», від 20.02.2003 р., «Про енергетичну ефективність будівель», від 02.06.2017 р. та «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку

виробництва біометану». Дані юридичні акти дозволили, у кінцевому рахунку, сформувані вже згадувану раніше Енергетичну стратегію України на період до 2050 року [9].

Важливою базовою складовою зростання енергоефективності та енергонезалежності окремих галузей економіки, мають виступати ВДЕ. Однак їх ефективне використання неможливе без науково обґрунтованого аналізу можливостей практичного застосування окремих видів ВДЕ та наявного потенціалу відновлюваної енергетики, залежно від географічного розташування [10]. Окремі розрахунки щодо оцінки енергопотенціалів ВДЕ та створення відповідних карт були проведені у ЦНТУ [11]. Більш розлогі дослідження здійснені у структурах НАН України – в Інституті електродинаміки та в Інституті відновлюваної енергетики, де було складено атлас енергетичного потенціалу ВДЕ України [12]. Проте, з моменту останніх досліджень вже минув певний період часу. Тому, враховуючи стрімкі природно-кліматичні й екологічні зміни, що відбуваються під впливом антропогенних чинників, й стрімкий розвиток і вдосконалення технологій, виникає потреба в осучасненні відомостей, зокрема щодо технічного й доцільно-економічного енергопотенціалу різних видів ВДЕ: сонячної, вітрової, гідравлічної і геотермальної енергій, а також біоенергетики. Крім того, необхідні інженерно-технічні розрахунки та дослідження вискоефективного сучасного обладнання для перетворення і використання енергії відновлюваних джерел. Внесок ВДЕ у загальну енергоефективність окремих галузей економіки неможливо достатньо оцінити без досліджень комплексного використання ВДЕ з іншими елементами енергетичних систем [10, 13].

Досить перспективною, на нашу думку, сферою енергозбереження ввижаються заходи, пов'язані з підвищенням енергоефективності будівель і споруд. Методологія проектування енергоефективного будинку повинна ґрунтуватись на системному аналізі споруди, як енергетичної системи, на основі достовірної інформації щодо теплотехнічних характеристик енергозберігаючих зовнішніх огорожувальних конструкцій і систем тепло-, водо-, електропостачання та вентиляції [13, 14], а також регіональних параметрів клімату, для умов України, і особливостей функціонального призначення споруди [15]. Зрозуміло, що цей процес неможливий без вдосконалення існуючих і створення нових систем автоматичного керування (САК) інженерними підсистемами у загальних системах життєзабезпечення.

Користуючись відкритими даними мережі Інтернет, можемо зробити висновок, що у реалізованих на сьогодні в світі проектах енергоефективних будівель існуючі системи електропостачання будівель, на основі ВДЕ, інженерні системи життєзабезпечення будівель та САК ними не інтегровані в єдиний взаємоузгоджений технологічний процес. Загальна економічна ефективність, зручність експлуатації та керування всім технологічним обладнанням будівель може бути підвищена, завдяки комплексному вирішенню завдань автоматизації, як на рівні локальних систем, так і на рівні систем диспетчеризації та САК [13-15]. Такий підхід повинен підсилити енергоефективність цілих громад і територій, підвищити їх незалежність від диктату енергокомпаній-постачальників та енергонезалежність країни в цілому [16].

При розробці САК, необхідний комплексний підхід і поглиблене вивчення питання переходу від програмованих логічних контролерів, що базуються переважно на простих алгоритмах керування, до більш сучасних – на основі технологій нечіткої логіки, штучного інтелекту, Інтернету речей тощо [14, 15]. Подальші наукові дослідження, серед іншого, мають бути спрямовані на розробку підходів та методів для створення «розумних» будинків і «розумних» міст. Кінцевою метою має бути інтеграція ВДЕ, разом з комплексом інженерних систем будівлі та власними локальними САК, в єдину систему інтелектуального керування всіма параметрами мікроклімату та безпеки будівель для комфортного життєзабезпечення, з обов'язковим врахуванням європейських та вітчизняних стандартів з енергоефективності.

#### IV. ВИСНОВКИ

1. Питання енергозбереження та енергоефективності є на часі й мають чітку тенденцію до поширення світом. В багатьох країнах, в т. ч. в Україні, існують сприятливі світоглядні,

законодавчі та технічні умови для розвитку даних напрямків національних економік.

2. Досить перспективним напрямком впровадження енергозберігаючих технологій є підвищення енергоефективності будівель і споруд. Методологія проектування енергоефективного будинку повинна ґрунтуватись на системному аналізі споруди, як єдиної енергетичної системи, яка об'єднує в собі системи життєзабезпечення (тепло-, водо-, електропостачання, вентиляції та кондиціонування тощо) і різноманітні системи керування.

3. Одним з найбільш дієвих шляхів підвищення енергоефективності будівель і споруд, в умовах України, є використання потенціалу ВДЕ (з урахуванням географічних і кліматичних особливостей місцевості). Існує потреба у більш глибоких дослідженнях щодо комбінованого використання різних видів ВДЕ, а також їх поєднання з традиційними джерелами енергії.

4. У напрямку розробки САК, доцільним є поглиблене вивчення питання переходу від програмованих логічних контролерів, що базуються переважно на простих алгоритмах керування, до більш сучасних – на основі технологій нечіткої логіки, штучного інтелекту, Інтернету речей та ін.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Роль і місце української енергетики у світових енергетичних процесах. Київ : Центр Разумкова, 2018. URL: [https://razumkov.org.ua/uploads/article/2018\\_ENERGY\\_PRINT.pdf](https://razumkov.org.ua/uploads/article/2018_ENERGY_PRINT.pdf) (дата звернення: 26.10.2023).
- [2] Сайт світової статистики реального часу. Енергія : веб-сайт. Назва з екрану. URL: <http://www.worldometers.info> (дата звернення 10.02.2024).
- [3] Вікіпедія. Вільна енциклопедія : веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення: 02.03.2024).
- [4] Crisis upon crisis: IMF Annual Report 2022. URL: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/ar/2022/downloads/imf-annual-report-2022-english.pdf> (дата звернення 08.12.2023).
- [5] Моделювання і прогнозування стану довкілля / Степаненко Д. С. та ін. : навч. посіб. Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2011. 180 с.
- [6] Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств / Соловей О. І. та ін. : навч. посіб. [Кіровоград. нац. техн. ун-т]. Черкаси : Чабаненко Ю. 2015. 316 с. URI: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5881> (дата звернення: 09.05.2023).
- [7] Україна та Європа мають спільну мету – енергобезпеку та енергонезалежність. *Урядовий портал. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України.*, 02 червня 2022 р. . URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/ukrayina-ta-yevropa-mayut-spilnu-metu-energobezpeka-ta-energonezalezhnist> (дата звернення: 16.09.2023).
- [8] Україна – енергетичний хаб Європи. Уряд схвалив Енергетичну стратегію до 2050 року // Міністерство енергетики України : веб-сайт. URL: <https://mev.gov.ua/novyna/ukrayina-enerhetychnyy-khab-yevropy-uryad-skhvalyv-enerhetychnu-stratehiyu-do-2050-roku> (дата звернення: 20.07.2023).
- [9] Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квіт. 2023 року. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#n6> (дата звернення: 20.07.2023).
- [10] Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources. 2<sup>nd</sup> ed. London and New York : Routledge Taylor & Francis Group, 2006. 601 с.
- [11] Пашенко В. Ф., Жесан Р. В. Карти енергетичних потенціалів відновлюваних джерел енергії як джерело інформації для проектування автономних систем енергопостачання із САК. *Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины.* № 11. Т. 2. Днепропетровск : РИК НГА Украины, 2001. С. 86-89.
- [12] Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с.
- [13] Gevorkian P. Alternative Energy Systems in Building Design, 1<sup>st</sup> ed. New York : McGraw-Hill Companies, Inc., 2009. 512 с.
- [14] Мхитарян Н. М. Человек и жилище. [Нац. акад. наук Украины, Ин-т возобновляемой энергетики]. Киев : Наук. думка, 2012. 309 с.
- [15] Басок Б. І. Фундаментальна теплофізична інженерія будівель у контексті відновлення України. За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 5 квітня 2023 року. *Visn. Nac. Acad. Nauk Ukr.* 2023. № 6. С. 62-72. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2023.06.062> (дата звернення: 20.07.2023).
- [16] Зубко Г. Європейський рецепт енергоефективності: що незабаром зміниться в Україні. *Європейська правда.* 13 серпня 2018 р. URL: <https://www.eurointegration.com.ua/articles/2018/08/13/7085349> (дата звернення: 26.10.2023).

# Сонячна енергетика: шлях до сталого енергетичного майбутнього

Тетяна Павленко, Ігор Ляхович

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I ВСТУП

Сучасний розвиток світової економіки невід'ємно пов'язаний із зростанням темпів виробництва енергії. Це зумовлюється багатьма факторами: загальним збільшенням світового товаровиробництва; розвитком транспорту та телекомунікацій; розробкою родовищ корисних копалин; утилізацією відходів, технічним переозброєнням армій тощо.

Багато факторів створюють проблеми, які також пов'язані з використанням джерел енергії, що впливають на розвиток електроенергетики

Для вирішення проблем створюються різні альтернативні джерела енергії, які пов'язані з природними ресурсами та сучасними технологіями.

*Метою роботи* є визначення альтернативних джерел енергії та можливості їх використання в різних галузях.

## II АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На цей час у світі все більше звертають увагу на використання так званих відновлюваних джерел енергії, а саме: тепла Землі, енергії вітру, припливів та відпливів, біогазу, сонячного випромінювання, тощо. Практично всі ці джерела енергії повністю зумовлені прямою дією Сонця.

Існують різні методи перетворення сонячного випромінювання в електрику та їх дослідження з використанням моделей побудови характеристик. Ці методи є найбільш зручними для споживача.

Наприклад, у роботі [1] висвітлено актуальні проблеми підвищення ефективності систем сонячного теплопостачання із плоскими сонячними колекторами та комбінованими геліонагрівниками. Розглянуто проблему використання енергії сонячного випромінювання, його практичного застосування у виробництві та в побуті. Подано характеристику сучасного стану сонячного теплопостачання.

В статті [2] розглянуто методи моделювання характеристик схем заміщення сонячних панелей. Порівняльний аналіз показав, що запропонована методика забезпечує найкращу точність апроксимації. При цьому для полікристалічних панелей похибка апроксимації збільшується через збільшене значення коефіцієнту ідеальності для даної технології виготовлення сонячних елементів.

У багатьох роботах [1-4] розглядаються результати досліджень та застосування різних методів перетворення енергії в електричну і теплову, обґрунтовані ефективні способи і засоби їх освоєння, види і типи енергетичного обладнання та принципи їх роботи. Розглянуто особливості застосування кожного із видів відновлюваних джерел енергії у різних галузях народного господарювання України, у тому числі у приватному секторі.

Аналіз робіт показує актуальність теми і підкреслює можливість використання альтернативних джерел енергії. Багато дослідників та практиків використовують шляхи отримання електричної енергії з застосуванням сонячного випромінювання та процесів в напівпровідникових елементах.

Завдяки процесам, що відбуваються в таких елементах, отримується найбільш вживаний вид енергії, що вважається екологічно чистим засобом на відміну від інших, які використовують органічне паливо, ядерну сировину або гідроресурси.

### III ВИКЛАДАННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Основою напівпровідникового сонячного елемента є пластина напівпровідника з *p-n* переходом. Розповсюдженими пристроями перетворення сонячного випромінювання є фотоелектричні елементи.

Завдяки фізичному процесу (фотоелектру) відбувається перетворення сонячної радіації в електрику. У напівпровідникових фотоелементах фотоелектр виникає, коли фотон (світлова хвиля) потрапляє на елемент, що складається з двох матеріалів, які мають різний тип електричної провідності («дірковий» або «електронний» рис.1, а). Фотон, вибиває електрон з його комірки, створює вільний негативний заряд і «дірку». Рівновага замикаючого шару, що утворився спочатку після розподілу зарядів і «дірок» (так званий «*p-n*» - перехід) порушується і в ланцюзі виникає електричний струм.

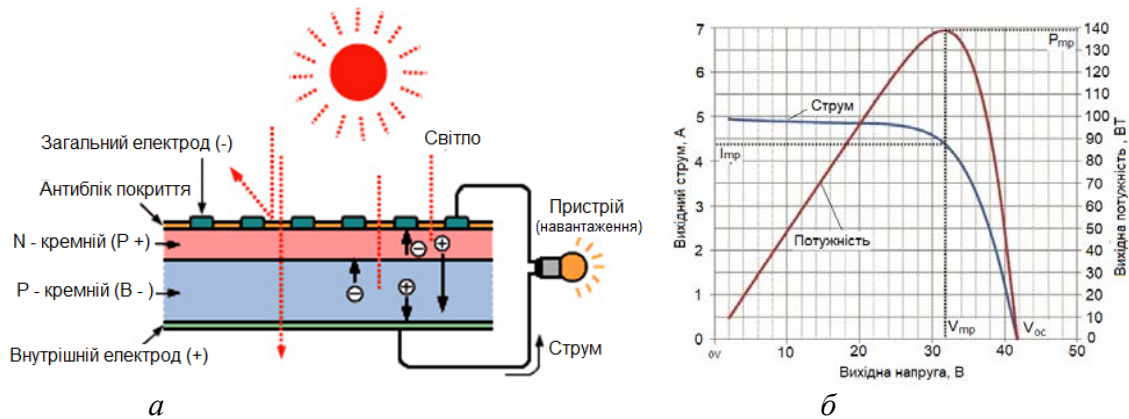


Рисунок 1 – Процес перетворення сонячної енергії (а) та характеристики елемента (б)

Фотоелементи з'єднуються (поєдновано або послідовно-паралельно) і таким чином створюється ланцюг фотоелектричного модуля. При послідовному з'єднанні елементів збільшується вихідна напруга, при паралельному – вихідний струм. Для того, щоб збільшити і струм і напругу комбінують два цих способу. Кількість фотоелементів і їх з'єднань залежить від необхідної потужності сонячного модуля (панелі). Електрична енергія сонячного елемента визначається як умовами освітлення, так і його характеристиками (рис. 1, б). На відміну інтегральних схем та інших мініатюрних приладів сучасної мікроелектроніки, сонячні елементи характеризуються великою площею, що дозволяє отримувати значні струми (порядку одиниць ампера).

На ринках світу широко використовуються різні види фотоелектричних панелей. Розповсюджені типи фотоелектричних панелей: монокристалічні кремнієві (ККД до 17,5%); полікристалічні кремнієві (ККД до 15%); елементи з аморфного кремнію (ККД до 6%); тонкоплівкові з гідрогенізованого аморфного кремнію та інших напівпровідникових матеріалів (телуриду / сульфід кадмію, арсеніду галію і тощо).

Для зменшення можливих електричних втрат при проходженні струму застосовуються різні методи. Наприклад, лицева сторона елемента покривається електропровідною металевою плівкою таким чином, щоб сонячне світло пройшло крізь металевий контакт без втрат та поглинулося у напівпровідниковому матеріалі. Також для зменшення втрат сонячного світла на оптичне відбивання від поверхні напівпровідника *n* - область часто текстурують (витравлюють спеціальні піраміди мікронних розмірів) та покривають антивідбиваючим шаром діелектрика.

Практичне використання сонячних панелей розповсюджується як на промисловості так і в інших галузях, а також у побуті. Вже традиційно сонячні панелі встановлюються на дахах будинків, підприємств та інших об'єктів. Вони перетворюють сонячне світло на електроенергію, яка може використовуватися для живлення цих об'єктів або подаватися в електромережу.

Окрім традиційних методів, існують перспективні тенденції, які значно розширюють можливості сонячної енергетики. Наприклад в області агровольтаїки (поєднання сільського господарства з особливостями методів сонячної енергетики, рис. 2, *а*). При цьому сонячні панелі встановлюються над полями або теплицями, що дозволяє використовувати одну й ту ж земельну ділянку для двох цілей. Ця технологія має ряд переваг, таких як: збільшення продуктивності сільського господарства, економію землі; зниження викидів парникових газів.



*а*



*б*

Рисунок 2 – Перспективне використання сонячних панелей:  
*а* – агровольтаїка; *б* – тандем технологія

Використання «тандемних технологій» з перовскіту та кремнію (рис. 2, *б*) сприяє створенню нових типів сонячних панелей, які складаються з двох шарів напівпровідникових матеріалів з різними енергетичними зазорами. Застосування сучасної перспективної технології дозволяє сонячним панелям поглинати більше сонячного світла, що робить їх більш ефективними та потужними. Це приводить до підвищення ефективності сонячних елементів, зниженню витрат на обслуговування і відкриває нові можливості отримання електроенергії.

Нові розробки підвищують ефективність роботи сонячних панелей за рахунок використання методів оптимізації та штучного інтелекту. Це дозволяє створювати найсучасніші сонячні електростанції, які можуть відповідати вимогам щодо екологічних аспектів отримання електроенергії та зменшенню використання викопного палива і забруднення навколишнього середовища.

#### IV ВИСНОВКИ

Сонячна енергетика – це динамічно розвиваюча галузь, яка має великий потенціал для вирішення енергетичних проблем світу. Інноваційні технології, роблять сонячну енергію більш ефективною, доступною та екологічно чистою. Завдяки сучасним технологіям сонячна енергія стає ключовим фактором у забезпеченні сталого енергетичного майбутнього України та світу.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1]. Мисак Й.С. Сонячна енергетика. Теорія та практика / Й.С. Мисак, О.Т. Возняк, О.С. Дацько, С.П. Шаповал// Вид. Львівська політехніка. – м. Львів, 2014. – 340 с.
- [2]. Мартинюк В. І. Визначення параметрів схем заміщення сонячних панелей за експериментальними даними/ За матеріалами конференції STEE-2021.// MicrosystElectronAcoust, 2021, vol. 26, no. 2.
- [3]. Відновлювані джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с
- [4]. Лежнюк П.Д. Відновлювальні джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія / П.Д. Лежнюк, О.А. Ковальчук, О.В. Нікіторович, В.В. Кулик - Вінниця: ВНТУ, 2014. – 204 с.

СЕКЦІЯ 5



# АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДО- БУДУВАННЯ

# Інтелектуальні системи керування електромеханічними процесами холодної прокатки

Олена Назарова, Олександр Русяк

*Національний університет «Запорізька політехніка»  
м. Запоріжжя, Україна*

## I. ВСТУП

Багатомасові електромеханічні системи холодної прокатки є одними з найбільш складних технологічних агрегатів, які характеризуються наявністю пружних ланок, змінними моментами навантаження та інерції, широким діапазоном зміни робочих швидкостей. До цих систем керування цими об'єктами пред'являється низка жорстких вимог: висока швидкість, плавність руху, відсутність перерегулювання в перехідних режимах, необхідний запас стійкості, надійність, технологічність виготовлення та обслуговування. Використання експертних знань операторів та баз даних електромеханічних процесів [1] при розробці інтелектуальних систем керування багатомасовими електроприводами станів холодної прокатки дозволить удосконалити існуючі системи захисту та алгоритми уникнення аварійних ситуацій.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Огляд досліджень інтелектуальних систем керування електроприводами станів холодної прокатки відображає найновіші тенденції та досягнення у цій області. Аналізуючи сучасні технології, які використовуються при розробці нових та модернізації існуючих станів холодної прокатки, можна виділити перехід до асинхронних та синхронних електродвигунів, а також використання найрізноманітніших систем регулювання [2]. Актуальним є використання інтелектуальних систем керування для оптимізації роботи електроприводів станів холодної прокатки. Це включає в себе застосування алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання для автоматичного адаптивного управління процесами прокатки [3, 4]. Аналіз різних моделей та симуляційних методів, які використовуються для прогнозування та оптимізації роботи електроприводів станів холодної прокатки, показав, що вони можуть включати в себе фізичні, аналітичні та чисельні підходи [5]. Одним із ключових аспектів досліджень є пошук способів оптимізації енергоспоживання та підвищення виробничої продуктивності за допомогою інтелектуальних систем керування електроприводами [6]. Не менш важливим є огляд досліджень з питань реалізації та впровадження інтелектуальних систем керування в реальних умовах виробництва станів холодної прокатки [7]. Аналіз поточних викликів та перспектив розвитку в області інтелектуальних систем керування електроприводами станів холодної прокатки продемонстрував широкі можливості використання новітніх технологій, таких як Інтернет речей (IoT) та хмарних рішень [8]. Огляд досліджень у цій області може допомогти виявити нові можливості для оптимізації процесів виробництва та підвищення ефективності в холодній прокатці.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Проаналізувавши концептуальні основи побудови систем інтелектуального керування, можна виокремити два основних напрямки. Представники першого напрямку розглядають інтелектуальне керування як один із напрямів розвитку теорії штучного інтелекту [9]. На

думку прихильників даного підходу, складовими інтелектуального управління є такі наукові галузі, як нейронні мережі, нечітка логіка, генетичні алгоритми і еволюційне програмування. Другий напрямок розглядає інтелектуальне керування як природний розвиток традиційної теорії управління. Так, Комітетом по інтелектуальному управлінню Інституту інженерів електротехніки та електроніки (Нью-Йорк, США) – IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) була створена спеціальна робоча група з завданням сформулювати визначення терміна «інтелектуальне управління» [9]. Найбільший інтерес представляють наступні запропоновані нею концептуальні положення інтелектуального управління. Виявлена неможливість остаточного визначення термінів «інтелект» і «інтелектуальність». В якості альтернативи пропонується розглянути деякі характеристики, властиві інтелекту і інтелектуальних систем, які можуть виявитися корисними при аналізі складних процесів управління. При цьому під традиційними чи звичайними системами управління розуміють системи, поведінка яких описується набором диференціальних або різницевих рівнянь. Для інтелектуального управління, на відміну від традиційного, не існує чіткої межі між об'єктом управління і керуючим пристроєм [9]. Тому закони управління можуть взаємодіяти з об'єктом управління і навіть модифікувати його. Термін «управління» при інтелектуальному управлінні має більш загальне значення, ніж при традиційному управлінні, тобто включає процеси діагностики ситуації, планування дій, прийняття рішень тощо. Таким чином, простежується тенденція до інтеграції досліджень представників двох вищевказаних наукових напрямів.

Інтелектуальні системи керування електромеханічними процесами холодної прокатки представляють собою комплексні рішення, які використовують сучасні технології для оптимізації процесів виробництва в прокатних станах. Ось деякі ключові аспекти цих систем. Інтелектуальні системи керування включають в себе розгалужену мережу сенсорів, які забезпечують постійний збір даних про стан обладнання та виробничих параметрів. Зібрані дані піддаються аналізу за допомогою алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання. Цей аналіз дозволяє виявляти відхилення від норми, прогнозувати можливі несправності та рекомендувати оптимальні налаштування для підтримки найкращої якості продукції. На основі аналізу даних системи керування автоматично втручаються у процес регулювання параметрів прокатки, таких як температура, швидкість прокату, напруга і тиск, для досягнення оптимальних результатів. Інтелектуальні системи керування використовують аналітичні моделі для прогнозування та оптимізації виробничих процесів. Вони враховують такі фактори, як тип металу, товщина прокату та вимоги до якості продукції. Завдяки використанню сучасних технологій зв'язку, інтелектуальні системи керування дозволяють віддалено моніторити та управляти процесами прокатки з будь-якої точки світу, що сприяє підвищенню ефективності виробництва та зменшенню витрат на управління. Перспективним є інвестування в інтелектуальні системи управління і технології управління цифровими об'єктами, що дозволяють ефективно реагувати і прогнозувати динаміку систем [10].

#### IV. Висновки

Дослідження інтелектуальних систем керування електроприводами станів холодної прокатки виявило, що ці системи є потужним інструментом для оптимізації процесів виробництва та підвищення ефективності в холодній прокатці. Огляд сучасних технологій електроприводів та методів управління показав, що використання інтелектуальних систем керування дозволяє автоматизувати процеси, підвищити точність та швидкість реакції на зміни у виробничих параметрах.

Дослідження показало, що інтелектуальні системи керування здатні до адаптивного управління, використовуючи алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу даних та прийняття оптимальних рішень. Це дозволяє підприємствам у галузі холодної прокатки підтримувати високу якість продукції, зменшувати витрати на енергію та матеріали, а також підвищувати загальну ефективність виробництва.

Проте, дослідження також виявило ряд викликів, пов'язаних з реалізацією та впровадженням інтелектуальних систем керування в реальних умовах виробництва. Серед них - високі витрати на впровадження, потреба у великому обсязі даних для ефективної роботи алгоритмів машинного навчання, а також необхідність постійного оновлення та підтримки систем.

Ці інтелектуальні системи дозволять підприємствам у галузі холодної прокатки підтримувати високу якість продукції, зменшувати витрати на енергію та матеріали, а також підвищувати загальну ефективність виробництва.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] О.С. Назарова, Б.В. Васильєв, Д.Р. Шокуров, «Удосконалення системи діагностики стана холодної прокатки на основі бази даних його електромеханічних процесів,» *Електротехніка та електроенергетика*, 2023, №1, С. 7-18. DOI 10.15588/1607-6761-2023-1-1
- [2] G. Di Rito, F. Schettini, R. Galatolo. "Model-Based Prognostic Health-Management Algorithms for the Freeplay Identification in Electromechanical Flight Control Actuators," *2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*, Rome, Italy, 2018, pp. 340-345, doi: 10.1109/MetroAeroSpace.2018.8453552.
- [3] L. Baldo, M. Bertone, M. D. L. Dalla Vedova and P. Maggiore. "High-Fidelity Digital-Twin Validation and Creation of an Experimental Database for Electromechanical Actuators Inclusive of Failures," *2022 6th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS)*, Venice, Italy, 2022, pp. 19-25, doi: 10.1109/ICSRS56243.2022.10067403.
- [4] S. N. Rednikov, E. N. Akhmedyanova and D. M. Zakirov. "Experience in Using Combined Diagnostic Systems for Assessing State of Metallurgical Equipment," *2018 Global Smart Industry Conference (GloSIC)*, 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/GloSIC.2018.8570148.
- [5] Кирик, В.В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник / В.В. Кирик. – Київ : КПІ ім Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 224 с.
- [6] Автоматизовані електромеханічні системи : конспект лекцій / укладачі : Черв'яков В. Д., Леонт'єв П. В., Соколов С. В. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 253 с.
- [7] O.Nazarova and O.Rusiak. "Fuzzy logic technologies in the diagnostic system of electromechanical processes of the cold rolling mill," 2023, *Energy*, Tbilisi, 3(107)/2023., pp. 10-15.
- [8] M. Zaluzhnyi, O. Nazarova, Y. Krysan and A. Pyrozhok, "Laboratory Stand for Studying the Automated Air Temperature Monitoring System Using IoT Technologies," *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402525.
- [9] Інтелектуальне управління : темат. покажч. літ. / уклад. Т. В. Антонова ; ред. А. В. Діденко ; Одес. нац. політехн. ун-т, Наук.-техн. б-ка. – Одеса : ОНПУ, 2019. – 103 с.
- [10] Дослідницький проект DynaGridCenter. – Режим доступу: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/enerhetyka/topics/dyna-grid-center.html>

# Conceptual model for the virtual points of commercial gas accounting automated system

Ihor Polataiko, Mykola Kuz

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
Ivano-Frankivsk, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

As of today, approximately 10 million household gas meters with mechanical metering devices are installed in Ukraine, most of which are not even equipped with natural gas temperature compensation devices, which does not allow, under current conditions, to achieve accurate and financially efficient measurement of the amount of gas consumed, expressed in energy units, under the requirements of regulatory documents. An approach based on virtual points of gas accounting was proposed as a concept with the potential to solve the current issues of gas accounting on a global level. This paper presents a conceptual model of an automation system of gas accounting based on the concept of virtual accounting points.

## II. ANALYSIS OF THE LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS

The article [1] introduces the concept of a virtual point of commercial gas accounting. The idea forms a cornerstone of the digitalization process required for the Ukrainian gas supply system in the area of gas accounting. In particular, the law [2] requires to use of kWh as a gas volume accounting unit, which, currently, cannot be effectively achieved on a global scale, considering that there are more than 10 million gas meters installed in the Ukraine. The methods described in articles [3] and [4] will be used for accurate and efficient gas volume metering. Publication [5] describes the assessment procedure for automated systems for control and accounting of natural gas energy, which should be taken into account for this type of system. The articles [6] and [7] focus on research on the hybrid method of gas metering and of the natural gas metering system in energy units. Work [8] describes online calibration of the gas meters as a part of gas control and metering systems. Lastly, works [9] and [10] focus on the development of smart gas infrastructures and, specifically, metering aspects in such infrastructures.

## III. MAIN MATERIAL

II The gas metering automation system is based on the concept of virtual accounting points, which are an abstraction level above physical gas meters. Virtual accounting point defines a meta-meter, which mirrors the physical meter but is not bound to it, which, for example, allows us to easily replace the physical meter without losing the history of the virtual one [fig 1]. Virtual point not only provides in-time measurement values but, also, allows viewing the history of consumption over time in both m<sup>3</sup> and kWh.

The automation system itself consists of the backend part of the system and mobile frontend application and has two main user roles: controller and consumer, and also global admin role. The mobile application is distributed among controllers and consumers, who also might be called house owners in the scope of the paper to outline the main intention behind the user experience, but the users are not limited just to house owners, as the system allows multiple individuals to have access to one virtual point, and at the same time, one individual can have access to the multiple virtual points as well.

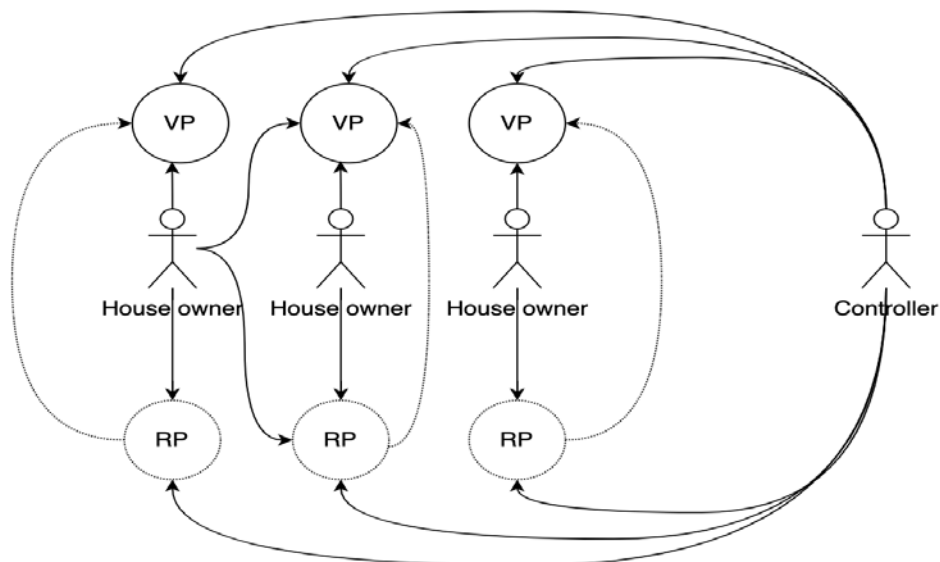


Figure 1 – Conception of interactions

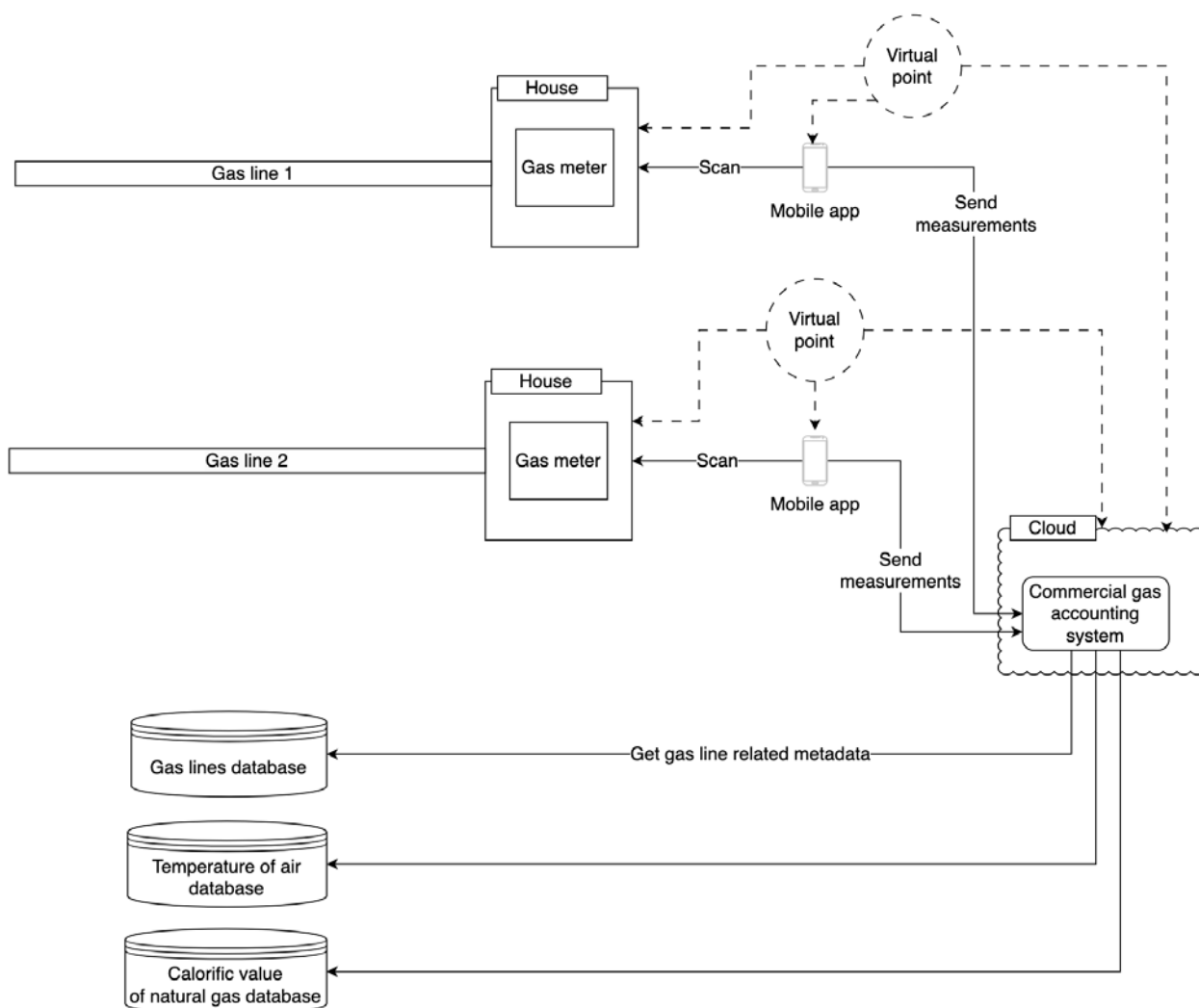


Figure 2 – Conceptual model of the system

The mobile part of the system provides the interface to the user which allows them to interact with the accessible virtual points. The backed part is responsible for data management and the functionality of the energy usage calculation [fig 2]. Energy usage calculation should be performed

in kWh, according to the Ukrainian law. To perform this calculation, the system has to fetch the data from the 3 external systems: gas lines database, temperature of air database, and caloric value of natural gas database. Having the caloric value of the natural gas database updated monthly, in order to provide current month kWh values, the task of caloric value prediction based on historical data should also be solved by the system because values for the current month would not be yet available.

Many-to-many relationships between the consumer and the virtual point is another great benefit of virtual accounting points which lies in fine-grained security control, they they allow us to achieve, at the same time reducing the work of the controller to a minimum. It's achieved by the automation system via the following user experience flow:

- Each physical meter will be equipped with a sticker containing the identifier of the physical meter in the form of a QR code. Initially, the controller should scan the QR code to initialize the virtual point. Then he can create a share request for that point, also as a QR code which will appear on the screen of his mobile application. The sharing QR code can then be scanned using the camera by the consumer which would result in the access to the virtual point being granted to this consumer.
- Having the access granted, the consumer can submit the measurement from the physical point to the virtual by simply taking a pictural of physical point measurements in the application. Also, the consumer can see the history of measurements and the monthly usage values in m3 and kWh. From now on, the work of the controller is minimized to only the occasional consistency check visits.
- Having the access granted, the consumer can also share the access with other individuals in case he needs to delegate the access to a virtual point via a process pretty similar to the one of the controller sharing the access with the consumer.
- The controller himself can record and submit the measurements of the physical gas point to the system for the virtual gas point to be aware of them, in the case, when consumers do not have the technical possibility to do it themselves.

The users should authenticate via the external trusted identity provider, which provides reliable information regarding the user identity. BankId identity platform might be used for this purpose. The controller logs in to the application by the same flow as the consumer and, after first login, is assigned his role in the system by the Global Admin of the system from the preconfigured set of administrators. The main behaviors of the system are outlined in the following use case diagram [fig 3].

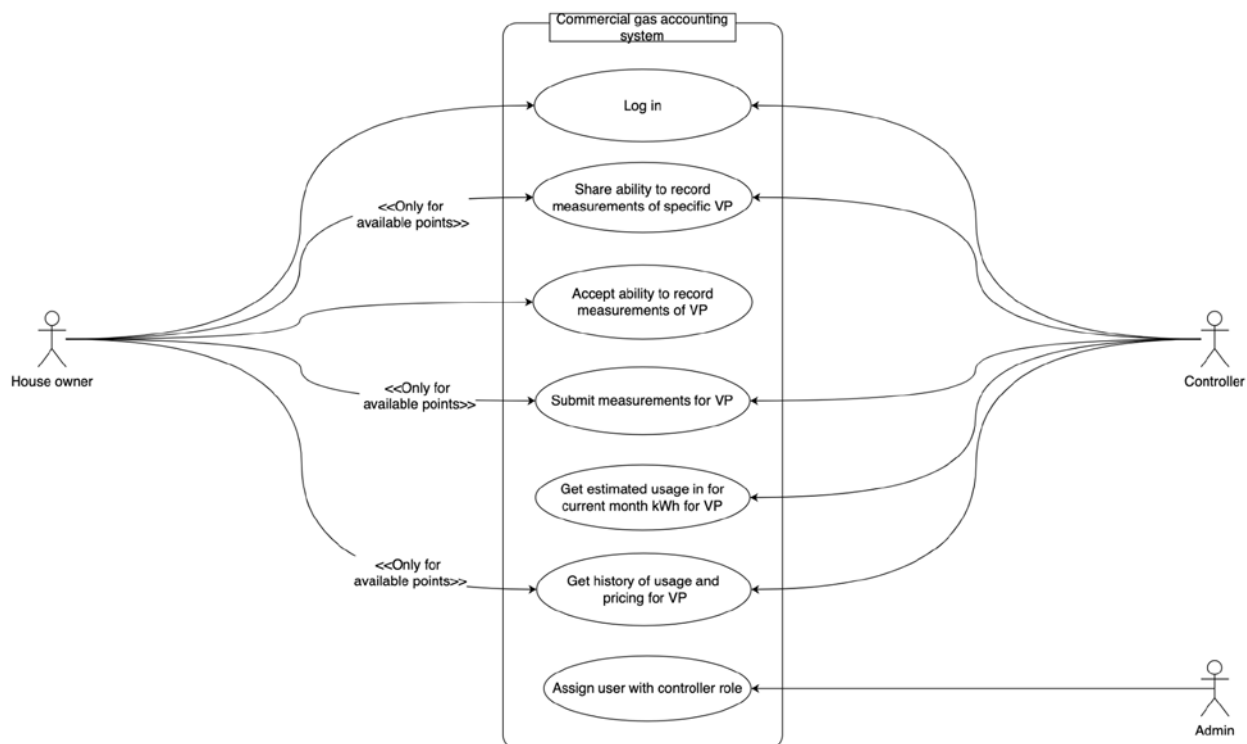


Figure 3 - Use-case diagram

As for quality attributes, we see that the proposed model of the automation system provides security regarding access to the virtual point data as well as enhanced reliability of consumed energy calculations in kWh and improved usability by providing easy measurements submission flow, usage history, and virtual point access sharing.

#### IV. CONCLUSIONS

As a result of the research, the conceptual model of the automation system of gas metering, based on the concept of virtual points, was developed. The modeled system conforms to the requirements of the Ukrainian law [2] in terms of gas volume measurement units and, also, provides greater flexibility, digitalization, and automation of the manual work. The system ensures decoupling between physical and virtual points of gas metering, which allows for the primer to be replaced seamlessly from the system's point of view. History of usage and current usage with the prediction of values in kWh are available through the simple mobile interface, along with the simple and secure virtual point access sharing mechanism, which removes a lot of manual work from the controller.

#### REFERENCES

- [1] Shulha V., Zamikhovskiy L., Kuz M. (2023). The concept of a virtual point of commercial accounting of natural gas energy and the algorithm for its software implementation. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 112, no 4, pp. 51–57, doi: [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2023.04.051](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.04.051)
- [2] Law of Ukraine on amendments to some laws of Ukraine on the introduction of accounting and settlements in the natural gas market in terms of gas volume in units of energy № 1850-IX (2021, November 2). *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy*, 5, 30. [In Ukrainian].
- [3] Kuz, Mykola & Zamikhovskiy, Leonid & Skliarov, Volodymyr & Kuz, Halyna. (2020). Methodology and software for measuring the specific differences of the calculated volumes of natural gas. *Ukrainian Metrological Journal*. 62-67. 10.24027/2306-7039.1.2020.204232.
- [4] Kuz, Mykola & Zamikhovskiy, Leonid & Shulha, Vitalii. (2021). Technical aspects of natural gas energy metering implementation. *Ukrainian Metrological Journal*. 21-25. 10.24027/2306-7039.1.2021.228205.
- [5] Bas, Olexandr. (2023). Procedure for conformity assessment of automated systems for control and accounting of natural gas energy. *Ukrainian Metrological Journal*. 38-48. 10.24027/2306-7039.4.2023.298651.
- [6] Dong, Jingya & Song, Bin & He, Fei & Xu, Yingying & Wang, Qiang & Li, Wanjun & Zhang, Peng. (2023). Research on a Hybrid Intelligent Method for Natural Gas Energy Metering. *Sensors*. 23. 6528. 10.3390/s23146528.
- [7] Predun, K. & Konovaliuk, Viktoriia & Franchuk, Yu. (2021). Improvement of the natural gas metering system in energy units. *Ventilation, Illumination and Heat Gas Supply*. 37. 62-67. 10.32347/2409-2606.2021.37.62-67.
- [8] Petryshyn, I. & Baş, Ozge. (2018). Implementation of the Intelligent Metering Systems for Natural Gas in Ukraine. *Metrology and instruments*. 59-67. 10.33955/2307-2180(6)2018.59-67.
- [9] Savickis, J. & Bode, I. & Jansons, Leo. (2020). Natural Gas Metering and its Accuracy in the Smart Gas Supply Systems. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 57. 39-50. 10.2478/lpts-2020-0026.
- [10] Montuori, Lina & Alcazar-Ortega, Manuel & Vargas-Salgado, Carlos & Mansó-Borràs, Irene. (2020). Enabling the natural gas system as smart infrastructure: Metering technologies for customer applications. 10.23919/GC-ElecEng48342.2020.9286291.

# Modeling of a DC Motor Device for Measuring Interphase Tension

Viktor Bilishchuk

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
Ivano-Frankivsk, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

To study the interphase tension of liquids, devices are used, in which an electric motor is used to bring the investigated liquids into a rotating motion. High requirements are placed on the engine shaft speed control system in these devices, regarding the accuracy and stability of maintaining a constant engine speed in a wide range of values (from 1000 to 10000 RPM) when conducting research on the interfacial tension of liquids [1].

## II. ANALYSIS OF LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS

A device was developed at the department of information and measurement technologies, which used an analog stabilizer of the frequency of rotation of an electric motor. The disadvantage of the used stabilizer is the unsatisfactory stabilization of the engine speed in a wide range of revolutions, which is necessary for the operation of the device. The scheme used works satisfactorily in a narrow range of engine revolutions – 3000 – 5000 rpm. The use of a discrete PID regulator (on the basis of a microcontroller) to regulate and stabilize the speed of rotation of the motor shaft should improve the characteristics of the developed device. It is proposed to use virtual simulation of the electric motor control scheme, which should facilitate and speed up the process of developing such a PID controller [2].

## III. MAIN MATERIAL

To design a PID controller of an electric motor, it is necessary to study the characteristics and create a model of the applied electric motor in the device, which is the research task of this work.

It is proposed to use a type 775 electric motor in the device for studying the interphase characteristics of liquids. When powered by a voltage of 12 V, it provides a shaft rotation speed of 12500 rpm without load, which fully satisfies its choice for use in the device. Other characteristics are specified by the manufacturer: the shaft stopping current is 20.6 A, the stopping torque is 0.466 N·m, the parameters under the load with a torque of 61 mN·m are 4.2 A current at a shaft rotation speed of 5240 rpm [3].

To create a model of the engine, we will use its general transmission characteristics:

$$\Omega(s) = K_T \frac{1}{L_a s + R_a} \frac{1}{J_m s + B_m} \quad (1)$$

where  $K_T$  is the design factor of the motor,  $L_a$ ,  $R_a$  are the inductance and resistance of the armature chain,  $J_m$  is the moment of inertia on the motor shaft,  $B_m$  is the friction in the motor bearings.

The characteristics provided by the motor manufacturer allow the calculation of  $K_T$ ,  $L_a$  and  $R_a$ , but do not allow the inertial characteristics of the motor to be obtained. This parameter is determined both by the inertia of the moving parts of the engine itself and the parts that the engine sets in motion. The inertia of moving parts can be calculated analytically or by finite element modeling in the appropriate software. Since a three-dimensional model of the device was built during its development,

the modeling method was chosen. The moment of inertia  $J_m$  was obtained from the constructed three-dimensional model of the motor rotor with the chuck mounted on the axis in the Solidworks program. This program allows you to calculate the moments of inertia of three-dimensional models relative to the axes. To obtain  $B_m$ , a structural diagram of the engine was built according to the transmission characteristic (Fig. 1) in the Proteus program. By setting the value  $\tau=0$  in block LP2, you can determine  $B_m$  as the ratio of signals at the output and input of this block  $S2(OUT)/LP2(OUT)$  and calculate  $\tau$  from the expression  $\tau=J_m/B_m$ . In this way, all the parameters of the electric motor model are obtained, which can be used to design the PID of the device regulator. In the future, it is planned to use the developed engine model for the development of a discrete PID controller in the Proteus program.

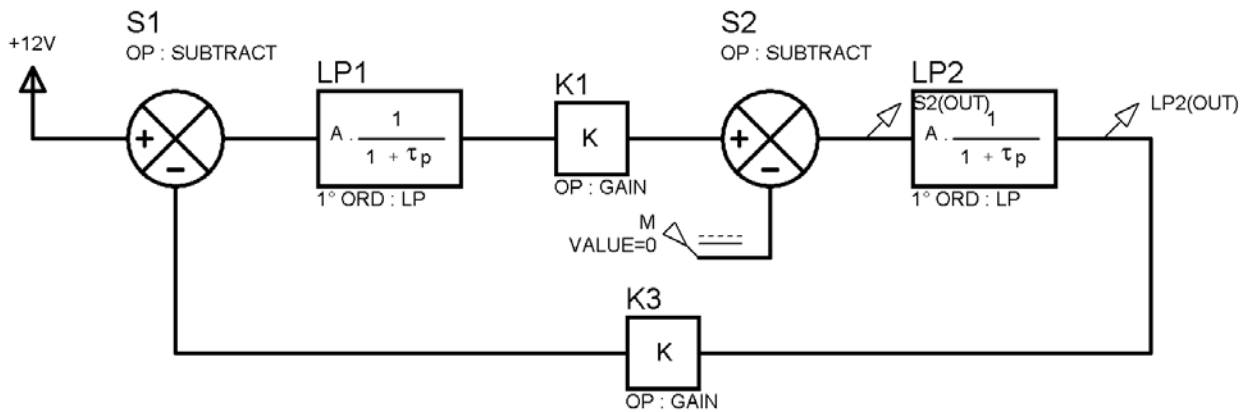


Fig 1 – Diagram of the electric motor model

#### IV. CONCLUSIONS

The created model of the electric motor will be used in the virtual model of the PID controller to determine its control function by modeling in the Proteus program. The work demonstrated the use of virtual simulation on a computer for the development of device blocks.

#### REFERENCES

- [1] Spinning drop tensiometer – SVT 25. URL: <https://www.dataphysics-instruments.com/products/svt/#!> (Access: 30.10.2023).
- [2] Білішук В. Б. Віртуальне моделювання приладів. Збірник тез доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», 13 жовтня 2022 р Івано-Франківськ: ВНЗ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, С 109-110
- [3] Motor-775-12V-12500rpm. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/Motor-775.pdf> (Access: 30.10.2023)

# Plant irrigation automation system

Andrii Shumylo, Roman Baitzar

*“Lviv Polytechnic” National University  
Lviv, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

Plant irrigation automation systems are becoming not only a symbol of technological progress, but also a necessary tool for conserving water resources and creating a healthy environment for plant growth. The modern world requires effective solutions in the field of agriculture and landscape design, and irrigation automation systems meet these requirements by providing an optimal level of irrigation and water efficiency.

One of the main advantages of such a system is its intelligent approach to irrigation control. Thanks to modern sensors of humidity, temperature, and atmospheric conditions, the system can accurately determine the amount of water required for plants at any given time. This allows you to use resources efficiently and avoid over-irrigation, which can lead to material costs and even damage to plants.

In general, plant irrigation automation systems are not only a convenient and efficient solution for agricultural and landscape needs, but also an important step towards sustainable resource use and environmental protection. Their implementation contributes to the creation of healthy and beautiful landscapes, as well as maintains ecological balance in natural ecosystems.

## II. ANALYSIS OF LATEST RESEARCHES AND PUBLICATIONS

Researches show that irrigation automation systems can reduce water consumption by 20-50% compared to traditional irrigation methods such as manual watering or sprinklers. This demonstrates the positive impact of irrigation automation systems on plant yields. Optimized and regular irrigation can help increase yields and improve product quality. [1]

Analysis of the economic aspects of the use of irrigation automation systems often shows that they can be financially beneficial, providing a reduction in water and labor costs, as well as an increase in production productivity. [2]

Researchers also point to the environmental benefits of using irrigation automation systems, such as reducing environmental impact through efficient use of water resources and conservation of soil moisture. [3]

The purpose of the work is to consider the importance and advantages of plant irrigation automation systems for both agricultural needs and landscape design. By analyzing the latest research and publications in this area, the report aims to highlight the efficiency, economic and environmental benefits of using such systems. In addition, it aims to emphasize the importance of these technologies in ensuring sustainable development and conservation of natural resources. Calling for the implementation and optimization of irrigation automation systems, the article aims to promote the development of efficient and ecologically clean agriculture, as well as the creation of healthy and attractive landscapes in urban and rural areas.

## III. PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

The automated plant irrigation system ensures reduced and rational use of water and saves human resources by automatically switching on and off pumps. The irrigation system can be flexibly configured to meet the varying requirements of crops, while requiring minimal maintenance. The modular configuration of the automated irrigation system allows it to be expanded for large greenhouses. [4]

Based on the analysis of automated irrigation systems and taking into account their advantages and disadvantages, we developed our own project - an automatic irrigation system for a private fruit plot. Since using only a static remote control or a computer is not convenient in this case, the system can be controlled from a portable device, such as a smartphone, using Wi-Fi. A mobile application for a smartphone provides full configuration and control of the system. The proposed irrigation system will use soil temperature and moisture sensors. The information received from them will be enough to determine the right weather conditions. Water jets are controlled by a pump and solenoid valves. The system is configured based on temperature, soil moisture, atmospheric pressure, and time of day.

The components of the automated irrigation system include a controller, a soil moisture sensor, a temperature sensor, an atmospheric pressure sensor, a power module, a water pump, and an FTP server. [5]

The automated system consists of two modules connected to each other via Wi-Fi (however, a wired connection is also possible), which allows you to transmit data on soil moisture, temperature, and atmospheric pressure via a closed Internet network.

The wireless sensor unit consists of a controller, sensors, and power supplies. It is inexpensive, reliable, wireless, and provides a long period of maintenance-free operation. The sensor unit is designed to communicate with the base unit. When the sensor unit detects humidity, temperature, and atmospheric pressure, the sensor unit communicates with the base unit and provides data on the current status. The sensor unit receives instructions to change operating parameters and control external devices. The sensors are connected via a PIC interface. The software can therefore automatically control the irrigation water supply. Several sensor units can be installed over an irrigated area to set up a distributed sensor network for an automated irrigation system.

In turn, the software part of the base unit, having analyzed the indicators of the sensor unit, activates the power module, which will immediately start the pump for pumping water.

The automated irrigation system can work without a client part, but at the request of the consumer, at any time you can track information and statistics on the irrigated area.

Information can be monitored online remotely using Internet access devices and a WEB service.

#### IV. CONCLUSIONS

An automated plant irrigation system is very important in optimizing water resources for agricultural production. The proposed system helps to perform automatic monitoring, which reduces the amount of labor and also proves that water use can be reduced for a given amount of fresh biomass production.

#### REFERENCES

- [1] Optimization of irrigation norms for paid water use in modern market conditions [Text] : Candidate of Technical Sciences (Engineering) degree / Voloshin, Nikolai Nikolaevich
- [2] Scientific principles of restoration of the technical condition of the engineering infrastructure of irrigation systems in Ukraine in the postwar period / M. I. Romashchenko, O. P. Muzyka, I. V. Voitovych, S. V. Usatyi // Bulletin of Agrarian Science. - 2023. - No. 6. - P. 61-70.//
- [3] Effective water management / V. Sydorenko, V. Nesterenko, D. Zhmak // Propozytsiya. - 2022. - No. 2.
- [4] Automated Irrigation system using Wireless Sensor Network / Shahin A. Pathan, MR. S.G. Hate // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)/ ISSN: 2278-0181 Vol. 5 Issue 06, June-2016
- [5] Effective water management / V. Sydorenko, V. Nesterenko, D. Zhmak // Propozytsiya. - 2022. - No. 2.

# Artificial Intelligence in Wireless Electronic Communication Systems

Karyna Trubchaninova, Vitaliy Voronets, Olexander Voronets

*Ukrainian State University of Railway Transport  
Kharkiv, Ukraine*

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Kharkiv, Ukraine*

## INTRODUCTION

The incorporation of artificial intelligence techniques into network technologies stems from the necessity to enhance the efficiency of wireless networks and elevate communication quality. Advancements in mobile communication systems utilizing intelligent data aim to maximize system throughput to reduce semantic errors by restoring sentence meanings, rather than solely addressing bit or character errors. A notable security concern in electronic communication systems involves the utilization of wireless digital network channels, both software and hardware components, as well as their switching elements.

### I. ANALYSIS OF RESEARCH AND PUBLICATIONS

In [1], it is shown that this is especially true for multi-user systems where system resources must be distributed among different users. Analysis of semantic signals from multiple users has revealed a significant amount of shared information. Utilizing this information can help prevent network bandwidth losses caused by excessive transmissions. The next generation of communication systems is seen as a transition to semantic communication, marked by the 'flow of intelligence' through the distribution of models [2]. This concept involves the use of artificial intelligence to create an information space of models that allows analyzing the multidimensional characteristics of signal sources and communication channels.

### II. PRESENTATION OF KEY MATERIAL

Proposals have been made regarding the utilization of artificial intelligence to analyze and differentiate between general and personal information within semantic signals originating from multiple users, with the aim of subsequently leveraging signals containing general information. The process involves comparing the variance of each dimension in two semantic signals and establishing a threshold percentage of coincidence. Signals containing general information are amalgamated and transmitted jointly, whereas those containing personal information are transmitted individually to each user. Concurrently, general semantic information is transmitted using the same frequency and time resource, while personal information is transmitted separately. The semantic signals obtained are visualized in a multidimensional space, representing the semantic model. This methodology facilitates a more effective utilization of shared information among various users in comparison to alternative methods.

### III. CONCLUSION

However, the importance of addressing security, quality, and efficiency concerns in transmitting accurate and complete information is increasing, especially within wireless communication systems. Beyond the risk of information loss in networks, there's the added threat of interception, distortion, and the insertion of false data into wireless communication channels. Although multiple access technology relying on semantic domain resources boosts productivity, it also brings significant risks of distorting information content. Therefore, to enhance the reliability of electronic communication systems, the recommendation is to include ultra-wideband signals as an additional measure.

### LITERATURE

- [1] I. Горбенко, О. Замула, and Х.Ч. Лик, "Comprehensive solution to the problem of electromagnetic compatibility of modern information and communication systems", *Радіотехніка*, 2020, 3(202), pp. 106-115, doi: 10.30837/rt.2020.3.202.11.
- [2] V. Knyazev, V. Kharchenko, B. Lazurenko, O. Serkov, K. Trubchaninova, N. Panchenko, "Development of methods and models to improve the noise immunity of wireless communication channels", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, Vol. 1 (5 (115)), pp. 35-42. doi: 10.15587/1729-4061.2022.253458.
- [3] A. Serkov, O. Kasilov, B. Lazurenko, V. Pevnev, K. Trubchaninova, "Strategy of building a wireless mobile communication system in the conditions of electronic counteraction", *Radioelectronic and Computer Systems*, 2023. (2). pp. 160-170. doi: 10.32620/reks.2023.2.13.

# Automated measuring complex development

## Serhii Rahulin

*Kherson State agrarian and economic University  
Kropyvnytskyi*

### INTRODUCTION

Conducting tests targeted at confirmation and clarification of operational characteristics of the IR echo-pulse NDT, requires the development of an automated measuring complex that would secure the testing data retrieval, their preprocessing and display in a convenient way for the operator. Moreover, it is necessary to ensure automated control of the laboratory bench used during the tests.

The nowadays stock-list of ready-made measuring devices and individual electronic components makes it possible to create such an automated complex. Notwithstanding, this requires high engineering and technical qualification of developers, and what is more a significant expenditure of material resources and time. Ready-made standard measuring platforms are not enough flexible, but expensive ones. They also require significant space for their placement, and it is often the case that specially trained personnel should be involved.

### ANALYSIS OF LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS

Unfortunately, although the fact that Arduino platform was created about 20 years ago and gained widespread appreciation about 15 years ago, its usage for scientific tests is still limited. Nowadays, this platform is mainly used in the educational process as a simulator of simple processes and systems. Not numerous examples of using the Arduino platform in a scientific test are the exception rather than the rule. So in some articles is proposed the usage of a platform for information receiving and processing from analog sensors, and also for creating an experimental radiophysical facility. The interface of the Arduino platform is examined. Also, analyzed its capabilities for performing the tasks regarding receiving, processing and transmitting of experimental data. There has been developed a software targeted at easing the connection of the Arduino platform with a personal computer needed for data exchange.

In the tests mentioned above, the Arduino platform was considered only as a converter of an analog signal to a digital signal with subsequent transmission of the latter to a personal computer, or as a signal generator. Meanwhile, the capabilities of the AVR128/328 microcontroller, on the basis of which the Arduino platform is built, are much greater. For example, this platform is able to simultaneously control some actuators and receive information in digital or analog form. The pointed out capabilities of Arduino in the tests listed above are disclosed and not sufficiently implemented.

### MAIN MATERIAL PRESENTING

The purpose of the test is to develop an automated measuring system for gathering and processing experimental data as part of the development of an IR echo-pulse NDT based on the Arduino platform.

In order to solve the above mentioned issues, there were applied methods of observation, comparison, analysis and synthesis, as well as material modeling.

The subject of the test is an automated measuring system for gathering and processing experimental data as part of the development of an IR echo-pulse NDT method.

The object of the study is the Arduino microprocessor platform which is used to control an automated measuring system for gathering and processing experimental data.

Development of a laboratory bench control system based on the Arduino platform.

During laboratory bench control system development, the following requirements were taken into account:

- Possibility of testing material samples of various linear dimensions.
- Automatic shut-down of the moving platform when it reaches the extreme positions in any operating mode of the bench.
- The ability to set the initial point of movement of the moving platform anywhere within the platform movement range, ensuring subsequent automatic return of the platform to the initial point.
- Ability to set the movement speed of the moving platform.
- Assurance of dual control of the bench's operation (using the control panel and primarily from a personal computer).
- Protection against giving incorrect commands to the bench.

There were used a plug-in software module called Stepper (developed by Ryan Orendorff) in order to control the stepper motor. The stepper motor is controlled via transistor switches. In order to limit the movement range of the moving platform, there are used wire-free limit switches (reed switches), which are connected to the digital inputs of the Arduino UNO module. The bench control panel is a keyboard consisting of 8 buttons, which are also connected mainly to the digital inputs of the Arduino UNO module.

The keyboard secures:

- issuing commands to the bench to move the moving platform in two modes ("rough" - at a speed of 50 mm/sec and "precisely" - at a speed of 5 mm/sec);
- issuing a command to save the current coordinates of the moving platform in RAM (setting the conditional "0" coordinates), relative to which the coordinates along the length of the test sample will eventually be measured;
- issuing a command to return the moving platform to the point taken as "0" coordinates;
- issuing a command to the flaw detector to measure the diagnostic parameter "in place" (without moving the moving platform);
- issuing commands to the flaw detector to implement inspection when moving the moving platform ("working pass" mode) in two directions (right and left) according to operator's choice.

To ensure communication with a personal computer, the Arduino IDE parallel port interface is used. With the help of the given interface, it is possible to issue the above mentioned commands to the bench, as well as setting the current length of the test sample.

## CONCLUSIONS

A significant advantage of using the Arduino platform is also the simplicity of the final equipment assembly. The usage of the Arduino platform while creating an automated measuring complex as part of the research of IR echo-pulse NDT method makes it possible to solve the problems of controlling laboratory equipment and also processing and transmitting experimental data with minimal expenditure of non-human resources and time.

There has been demonstrated the possibility of dual control of laboratory equipment. Also, there has been developed algorithms for equipment control and processing of experimental data, ensuring the necessary accuracy.

## REFERENCES

- [1] Asadi, F. (2023). Essentials of Arduino Boards Programming: Step-by -step guide to master Arduino boards hardware and software. Apress.
- [2] Blum, J. (2020). Exploring Arduino: Tools and techniques for engineering wizardry. John Wiley & Sons Inc.
- [3] Anderson, R., & Cervo, D. (2013). Pro Arduino. Apress.
- [4] Barrett, S. F. (2010). Arduino microcontroller processing for everyone! Morgan & Claypool Publishers.

# Обґрунтування вибору методу контролю крайового кута змочування гідрофобного покриття

Ольга Барна, Сергій Барна

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## І. ВСТУП

Широкого застосування у різних сферах промисловості та побуті набули на даний час гідрофобні покриття скляних поверхонь. Основною їхньою перевагою є самоочищення, а також антивідблискуючі властивості, яких набувають скляні поверхні з нанесеним покриттям. Зокрема, гідрофобні покриття широко використовуються у сфері відновлюваної енергетики - вони можуть значно підвищити ефективність сонячних панелей, видаляючи пил та інші забруднення, які в іншому випадку знижують їх продуктивність. Накопичення забруднень на поверхні панелей є основною проблемою, що знижує їхню фотоелектричну продуктивність. Існують різні покриття для вирішення цієї проблеми, причому основна увага приділяється покриттям, які не тільки забезпечують самоочищення, але й мінімізують розсіювання і відбиття світла для поліпшення світлопропускання. Через забруднення поверхні сонячних батарей (пил, бруд, листя, пташиний послід) значно знижується потрапляння світла на фотоелементи, що призводить до зменшення генерації електроенергії. Розрахунки показують, що при рівномірному розподілі всього 4 кубічних сантиметрів пилу на одному квадратному метрі поверхні, ефективність сонячної батареї падає на 40%.

Також таке покриття широко використовується, наприклад, для нанесення на лобове скло автомобіля, що дає такі ефекти:

- скло з гідрофобним покриттям покращує видимість на 33% порівняно з необробленим склом, причому для усієї скляної поверхні, включаючи ті місця, до яких склоочисники не можуть дістатися;
- на швидкості, що перевищує 80 км/год, вода скочується з поверхні гідрофобного скла, не затримуючись, що покращує видимість, а також уповільнює зношення склоочисників.
- гідрофобне покриття поверхні скла полегшує видалення паморозі, комах, бруду та пилу, сприяючи легшому процесу очищення автомобільного скла.

При великій кількості різноманітних гідрофобних покриттів для скляних поверхонь виникає потреба у визначенні якісних властивостей цих покриттів.

Таким чином дослідження та контроль водовідштовхувальних властивостей таких покриттів є наразі актуальною задачею. Пропонується розробити ефективну методику контролю крайового кута змочування водою гідрофобних покриттів скляних поверхонь.

## ІІ. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Найпоширенішим методом дослідження змочувальних чи незмочувальних властивостей речовин є контроль крайового кута змочування.

Рівновага точки трифазного контакту твердої поверхні, рідини і газу описується відомим рівнянням Юнга [1-5]:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv}\cos\theta, \quad (1)$$

де  $\gamma_{sv}$  - поверхнева енергія на межі контакту тверде тіло-повітря (solid-vapor);  $\gamma_{sl}$  - поверхнева енергія на межі контакту тверде тіло – рідина (solid-liquid);  $\gamma_{lv}$  - поверхнева енергія на межі розділу фаз рідина-повітря (liquid-vapor), фактично це поверхневий натяг рідини;  $\theta$  - крайовий кут змочування (ККЗ) (рис. 1).

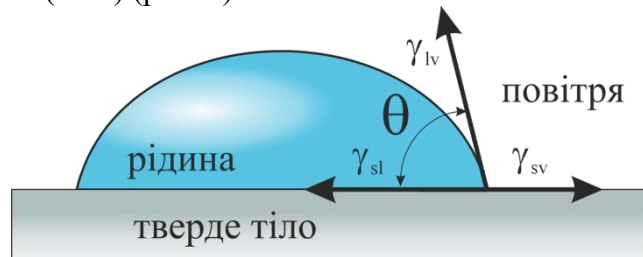


Рисунок 1 - Ілюстрація області трифазного контакту тверде тіло – рідина – повітря

У випадку, коли досліджувана рідина - вода, ККЗ визначає гідрофільність або гідрофобність поверхні.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Найпростішим і найпоширенішим методом вимірювання статичного ККЗ є метод лежачої краплі, у якому ККЗ вимірюється оптичним тензіометром (також відомий як гоніометр контактного кута або аналізатор форми краплі) [2]. При вимірюванні контактного кута цим методом краплю рідини (зазвичай води) розміщують на поверхню досліджуваного зразка, а зображення краплі роблять за допомогою камери з високою роздільною здатністю. Тоді кут контакту автоматично визначається програмним забезпеченням. Потім зображення підбираються за допомогою відповідного алгоритму, як правило, на основі рівняння Юнга (1), щоб визначити контактний кут між краплею та твердим тілом.

Якщо ККЗ  $\theta$  менший  $90^\circ$  градусів, то поверхня вважається гідрофільною, а якщо кут контакту перевищує  $90^\circ$  градусів, поверхня є гідрофобною (рис. 2). Розрахунок ККЗ за допомогою рівняння Юнга можливе за умови таких припущень щодо поверхні (оскільки даний метод застосовується для ідеальних поверхонь) [4] - поверхня є гладкою, твердою, хімічно однорідною, нерозчинною та не вступає в контакт з рідиною.

Оскільки на практиці часто порушується принаймні одне з цих припущень, вимірний ККЗ технічно є діапазоном стабільних контактних кутів, які існують на основі таких факторів, як хімічна однорідність, відсутність рельєфу і шорсткості поверхні. З метою охоплення всього діапазону кутів для поверхні зразка вимірюються динамічні ККЗ (натікання і відтікання). Різниця між контактними кутами натікання та відтікання називається гістерезисом контактного кута.

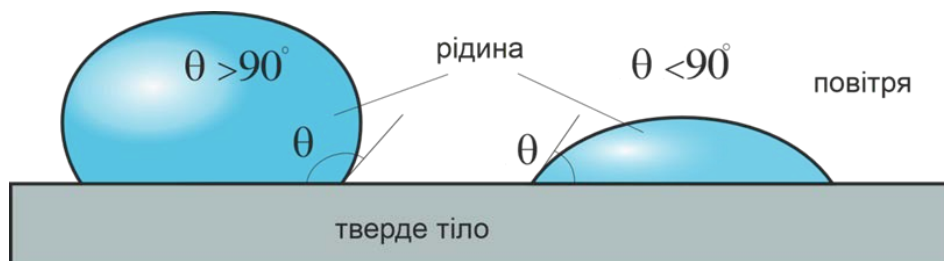


Рисунок 2 - Ілюстрація методу лежачої краплі для дослідження ККЗ

Метод нахилу поверхні відноситься до методів вимірювання контактного кута натікання і відтікання. У цьому методі краплю розміщують на поверхні, після чого тверду основу разом з краплею нахиляють до моменту, поки крапля не почне рухатися (нахиляють на найбільший кут до моменту скочування краплі з поверхні). Контактний кут натікання

вимірюється проти напрямку руху краплі, кут відтікання вимірюють за напрямом руху краплі (рис. 3). Метод також дозволяє визначити так званий кут скошування, який є кутом нахилу твердої поверхні, при якому крапля починає рухатися.

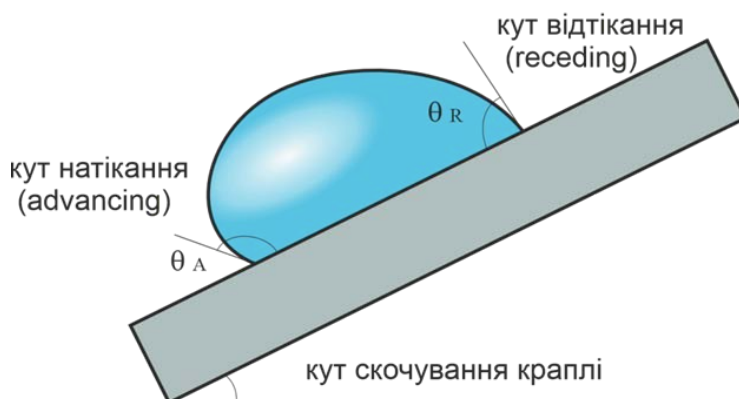


Рисунок 3 - Ілюстрація методу вимірювання контактних кутів натікання і відтікання за допомогою нахиленої основи

При методі вимірювання контактних кутів натікання та відтікання за допомогою дозатора з голкою виконують наступні операції. Голку, через яку подається рідина (вода), розміщують близько до твердої поверхні. Розмір краплі, як правило, води, поступово збільшується шляхом закачування в краплю більшої кількості рідини. Коли лінія контакту краплі з твердою поверхнею починає рухатися, вимірюється контактний кут натікання. Після цього розмір краплі поступово зменшують шляхом втягування рідини назад у дозатор. Коли контактна лінія починає відходити, вимірюється контактний кут відтікання (рис. 4). Даний метод підходить найбільше для дослідження змочування гідрофобних поверхонь.

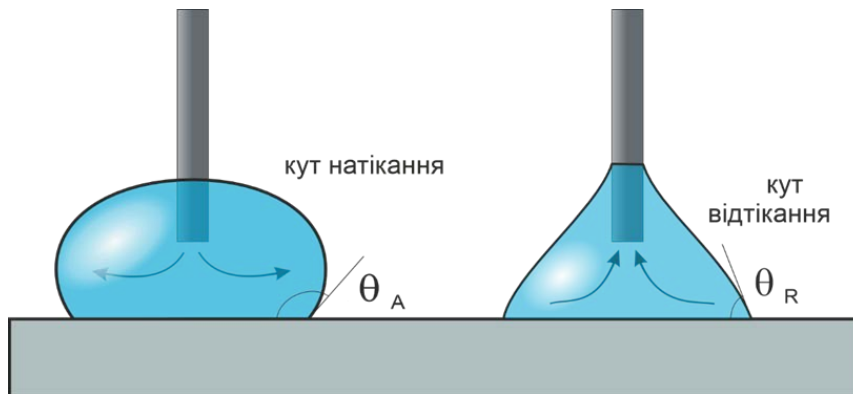


Рисунок 4 - Метод вимірювання контактних кутів натікання та відтікання за допомогою дозатора з голкою

Ще один із поширених методів вимірювання контактних кутів - за допомогою силового тензіометра - метод пластини Вільгельмі.

Пластина Вільгельмі – це тонка пластина з відомими розмірами, яка зазвичай використовується для вимірювання поверхневого або міжфазного натягу між поверхнею розділу повітря-рідина або рідина-рідина відповідно. Проте той самий принцип вимірювання можна також використовувати для вимірювання контактних кутів пластини або стержня.

Метод пластини Вільгельмі заснований на вимірюванні сили  $F$ , що діє на пластину, яка частково занурена в рідину. Кут натікання та відтікання можна обчислити за допомогою лінійної регресії кривих на нульовій глибині відповідно. Хоча метод пластини Вільгельмі дає можливість вимірювати контактні кути натікання та відтікання, а також гістерезис

контактного кута, проте даний метод складно реалізувати для дослідження гідрофобних поверхонь [6].

#### IV. ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу джерел зроблено висновок, що з метою дослідження водовідштовхувальних властивостей покриття скляних поверхонь найбільш повну інформацію можна отримати шляхом вимірювання ККЗ натікання та відтікання за допомогою дозатора з голкою. Даний метод дозволяє отримати гістерезис ККЗ, що значно підвищує точність отриманих значень.

Проте, оскільки на форму згорнутого меніска (краплі) має вплив меніск, що утворюється навколо зануреної голки дозатора (це явище досліджувалось у [7]), то пропонується удосконалити метод дослідження крайового кута змочування шляхом розміщення голки дозатора знизу скляної пластини з невеликим отвором, через який буде подаватися рідина (вода) дозованого і точно вимірюваного об'єму.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] J. W. Drelich et al. Contact angles: History of over 200 years of open questions. *Surface Innovations*, 8 (1–2), 2019, p. 3-27.
- [2] Yuan, Yuehua, and T. Randall Lee. Contact angle and wetting properties. *Surface science techniques*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, p. 3-34. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1_1).
- [3] Neumann, A. Wilhelm, Robert David, and Yi Zuo, eds. Applied surface thermodynamics. Vol. 151. CRC press, 2010.
- [4] D. Y. Kwok, A. W. Neumann. Contact angle measurement and contact angle interpretation. *Advances in Colloid and Interface Science*, 81(3), 1999, p. 167–249. [https://doi.org/10.1016/s0001-8686\(98\)00087-6](https://doi.org/10.1016/s0001-8686(98)00087-6).
- [5] , M. A. Tabar, A. D. Monfared, F. Shayegh, F. Barzegar. Super gas wet and gas wet rock surface: State of the art evaluation through contact angle analysis. *Petroleum*, 9(1), (2023), p. 1-7.
- [6] M. Nosonovsky, R. Ramachandran. Geometric interpretation of surface tension equilibrium in superhydrophobic systems. *Entropy*. – 17(7), 2015. Pp. 4684-4700.
- [7] О. Б. Барна. Удосконалені метод розгорнутого меніска та прилад для контролю поверхневих властивостей на межах розділу фаз : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.11.13 "Прилади і методи контролю та визначення складу речовин" : Дата захисту 30.10.14 / О. Б. Барна. - Івано-Франківськ, 2014. - 174 с.

# Моделювання робототехнічних і мехатронних систем на базі Micro:bit

Олена Назарова, Аліна Казурова,  
Володимир Осадчий, Радіон Богунов

*Національний університет «Запорізька політехніка»  
м. Запоріжжя, Україна*

## I. Вступ

Одним із найпоширеніших методів для вивчення та дослідження будь-яких технічних і технологічних систем є моделювання (математичне, фізичне і комп'ютерне). Зважаючи на обставини, з якими стикається сучасний світ, такі як пандемії та війни, актуальності набувають інструменти, які дозволяють організувати навчальний процес у дистанційній формі та розширити можливості проведення практичних робіт для студентів. Робототехнічні і мехатронні системи викликають стійкий інтерес у студентів різних вікових категорій через дуже широкі можливості для створення обладнання, до складу якого входять механічні та електричні елементи, системи автоматики та автоматичного керування, мікроконтролерні елементи, які потребують написання програми. Стрімкий розвиток сучасних технологій навчання пропонує досить широкий вибір засобів для ознайомлення і більш глибокого вивчення робототехнічних і мехатронних систем, проте вимагає у більшості випадків значних матеріальних витрат для забезпечення здобувачів вищої освіти такими засобами, що викликає певні труднощі для закладів вищої освіти. Одним із шляхів вирішення такої ситуації є використання спеціалізованого навчального обладнання, яке значно дешевше у порівнянні з промисловими зразками, та емуляторів для вивчення різних комп'ютеризованих та мехатронних систем, що дає змогу підвищити рівень фахової підготовки шляхом включення у навчальні програми та лабораторні практикуми новітніх технологій без значних матеріальних інвестицій у них [1].

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Набуває усе більшої популярності впровадження у навчальний процес порівняно нової і досить зручної розробки, яка призначена для початкових кроків у вивченні робототехнічних і мехатронних систем, - плата розробника BBC Micro: bit [2] з безкоштовним хмарним візуальним середовищем програмування Make Code компанії Microsoft [3]. У статті [4] пропонується розробка для отримання даних датчика вологості ґрунту з micro:bit і надсилання значення в хмару. За допомогою популярної навчальної платформи BBC micro:bit студенти можуть створити власну просту концепцію розумного дому та практикуватися програмування мислення [5]. BBC micro:bit часто використовується в навчальному процесі для навчання концепціям програмування у початкових, середніх школах та університетах, що підвищує мотивацію студентів до вивчення програмування [6]. Автори дослідження [7] після багатьох років спостережень та спілкування зі студентами та вчителями дійшли висновку, що студентів потрібно залучати до розробки обладнання для експерименту. BBC micro:bit останнім часом набуває все більшого поширення, оскільки дозволяє студентам бути більш творчими [8]. BBC micro:bit з великим успіхом використовується в початкових і середніх школах по всьому світу. У цьому матеріалі ми обговорюємо переваги використання micro:bit в університетському середовищі на курсах бакалаврської програми з прикладної інформатики [9]. Це дослідження [10] описує навчальний матеріал, зосереджений на керуванні освітленням і обробці повідомлень у

мережах зв'язку. Середовище програмування Makecode для micro:bit підтримує розуміння інтерактивного програмування та архітектури інформаційної мережі.

Отже, аналізуючи літературні джерела, які наведені раніше, актуальність дослідження можна умовно розділити на два напрями. Перший напрям – це дослідження «розумних» технологій. Другий напрям – це використання спеціалізованого навчального обладнання для вивчення основ розробки «розумних» речей, отримання навичок узагальнення інформації декількох датчиків для побудови замкненої системи автоматичного керування. Об'єднання обох напрямів допоможе студентам отримати навички роботи з системами автоматичного керування реальними об'єктами, поглибити знання з програмування, провести дослідження ефективності розробленої системи на фізичній моделі, що підвищить рівень теоретичних знань та практичних навичок студентів.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Зважаючи на складну ситуацію у світі із захворюваністю COVID-19, більшість навчальних закладів було вимушено впровадити у повному або змішаному форматі дистанційну форму навчання, що вплинуло на можливість студентів у повній мірі скористатися лабораторними засобами, які задіяні у навчальному процесі. Технологія поєднання віртуальних і дистанційних приладів, яка дозволяє створювати системи вимірювання, дослідження та керування з можливістю дистанційного підключення досі є актуальною. Лабораторне обладнання не завжди встигає оновлюватися, враховуючи безупинний розвиток технологій. Тому актуальним є залучення здобувачів вищої освіти до розробки лабораторних стендів, які можна застосовувати у навчальному процесі та для організації науково-дослідної роботи. Наприклад, розробка та вивчення систем контролю температури промислових, побутових, комерційних і офісних приміщень. Ця задача може бути розв'язана як за допомогою промислових зразків сенсорів та мережевих технологій [11], так і засобами навчального обладнання. Аналогічні підходи є актуальними при розробці найрізноманітніших систем, пов'язаних з «розумними» технологіями: починаючи від елементів «розумного» будинку, систем сигналізації та автоматичних систем поливу рослин.

Використання лабораторного стенда з адекватною йому імітаційною моделлю, що є комплексним інструментом з розробки, налагодження та оцінки ефективності систем керування [12], дозволяє знизити трудомісткість розробки систем керування для практичних застосувань. Досить часто трапляється, що здобувачам освіти відмовляють у проведенні експериментів на реальному обладнанні через підвищену небезпеку або суттєву вартість експерименту. Тоді стає у пригоді математичне або фізичне моделювання, що дозволяє дослідити нові системи автоматичного керування. При вивченні та дослідженні об'єктів, що об'єднані певними властивостями або мають аналогічну структуру, використання математичних або комп'ютерних моделей розширює можливості для експериментів, зменшуючи ризики і вартість на їх проведення.

Використання у навчальному процесі сучасного дослідницького обладнання сприяє підготовці не тільки освічених фахівців, але й людей, які здатні творчо мислити, швидко реагувати на певні нестандартні ситуації, вони постійно удосконалюють свої знання і використовують їх у практичній діяльності. Залучення здобувачів вищої освіти до розробки навчального та дослідницького обладнання у галузях електричної інженерії та автоматизації сприяє розширенню їх практичних компетентностей [13].

### IV. ВИСНОВКИ

Використання у навчальному процесі доступних за ціною програмно-апаратних засобів, емуляторів на базі Micro:bit для вивчення і дослідження робототехнічних і мехатронних систем розширює практичні навички здобувачів освіти. Здатність застосовувати різні мови програмування для розробки та модернізації лабораторного обладнання з сучасними мікропроцесорними системами розвиває творчу складову інженера.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Назарова О.С. “Використання емуляторів при дослідженні стаціонарних і автономних мехатронних систем,” *Прикладні науково-технічні дослідження* : матеріали V міжнар.наук.-прак. конф., 5-7 квіт. 2021 р. Академія технічних наук України, Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М. 2021. С.217-219.
- [2] <https://microbit.org/>
- [3] <https://makecode.microbit.org/>
- [4] R. K. Kodali, K. P. Nimmanapalli and S. Jyothirmay, “Micro:Bit Based irrigation monitoring,” 2018 *4th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA)*, Greater Noida, India, 2018, pp. 1-3, doi: 10.1109/CCAA.2018.8777721.
- [5] P. Voštinár and J. Knežník, “Using BBC micro:bit in primary and secondary schools for creating simple smart home,” *2020 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2020, pp. 648-652, doi: 10.23919/MIPRO48935.2020.9245314.
- [6] P. Voštinár and J. Knežník, "Experience with teaching with BBC micro:bit," *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Porto, Portugal, 2020, pp. 1306-1310, doi: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125278.
- [7] P. Bernad, D. Šic, R. Repnik and D. Osrajnik, "Development of Measurement Systems with the BBC Micro:bit," *2021 44th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2021, pp. 853-858, doi: 10.23919/MIPRO52101.2021.9596834.
- [8] N. Klimová, "Wearables: Educational Projects Made with the BBC micro:bit," *2020 18th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Košice, Slovenia, 2020, pp. 323-329, doi: 10.1109/ICETA51985.2020.9379247.
- [9] M. Čerňanský and J. Jurinová, "Using BBC Micro:bit in University Environment," *2022 20th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Stary Smokovec, Slovakia, 2022, pp. 97-102, doi: 10.1109/ICETA57911.2022.9974869.
- [10] O. Nazarova, A. Kazurova and R. Bogunov. “Development and research of the software and hardware complex for controlling the lighting and alarm systems of the smart building,” *Міжнародна наукова конференція «Новітні досягнення в науці та техніці і їх значення для суспільства»*, 6–7 грудня 2023 року м. Ченстохова, Республіка Польща, С.60-63. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-388-0-14>
- [11] M. Zaluzhnyi, O. Nazarova, Y. Krysan and A. Pyrozhok, "Laboratory Stand for Studying the Automated Air Temperature Monitoring System Using IoT Technologies," *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402525.
- [12] A. Kazurova, A. Pyrozhok, M. Antonova, O. Nazarova and I. Meleshko, "Using Sequential Observers to Estimate the Parameters and State Vector of the Control System," *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402464.
- [13] О.С. Назарова, В.В. Осадчий, В.В. Брилистий, С.С. Шульженко, М.О. Олейніков, І.А. Мелешко, Б.Ю. Рудім “Інноваційні форми роботи зі здобувачами вищої освіти для розширення практичних компетентностей у галузях електричної інженерії та автоматизації,” 10-а міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. молодих учених і студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління», 30 лист. 2022 р. : мат. конф., Луцьк, 2022., С. 15-21.

# Система моніторингу температури з використанням технології IoT

Олена Назарова, Михайло Залужний, Тимофій Полешко

*Національний університет «Запорізька політехніка»  
м. Запоріжжя, Україна*

## I. Вступ

В процесі моніторингу аналогових даних, таких як температура, вологість, освітленість, напруга, струм в трифазній мережі, виникла необхідність дослідити динаміку їх змін за певний період часу. Звичайні вимірювальні прилади мають обмежені можливості щодо оперування результатами цих вимірювань, для їх подальшої обробки та аналізу. Одним із шляхів вирішення цієї задачі є створення системи моніторингу та реєстрації даних. Все частіше такі пристрої виготовляються на базі цифрових процесорів або персональних комп'ютерів. Реєстратори зазвичай невеликі за розміром, портативні, мають власне джерело живлення, вбудовану пам'ять для зберігання даних, а також різноманітні датчики і власний мікропроцесор. Деякі з них мають термінальні програми для підключення до ПК, а також використовують програмне забезпечення для дистанційного керування або моніторингу показань датчиків. Деякі представники вищого цінового сегменту мають локальні інтерфейси взаємодії, такі як клавіатура або сенсорна панель. Тому організація автоматизованого вимірювання температури, онлайн моніторингу на основі технології інтернету речей є актуальною задачею, має науковий інтерес та практичне значення.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Створення необхідних кліматичних умов у приміщенні, де відбувається технологічний процес, є запорукою коректної роботи усіх складових системи автоматичного керування. Системи вимірювання та моніторингу температури через бездротову мережу набули широкого впровадження при видобутку вугілля у шахтах [1], при передачі електроенергії через підземні кабелі [2,3], для забезпечення стабільної роботи силового енергетичного обладнання [4] та підстанцій [5]. Онлайн моніторинг параметрів функціонування та ефективності системи охолодження є ключовими елементами визначення робочого стану трансформаторів [6,7] та найрізноманітніших електричних двигунів [8, 9]. Створення комфортних умов у приміщенні, де знаходиться обслуговуючий персонал, у великих приміщеннях, залах [10] або в аудиторіях, де проходить навчальний процес, є важливим соціальним завданням, бо внутрішнє середовище безпосередньо впливає на стан людини [11].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Метою роботи є розробка універсального комплекту для вивчення технології IoT з використанням бездротових мереж.

Для створення системи моніторингу була обрана технологія LoRa з використанням протоколу LoRaWAN. Ключовими перевагами технології LoRa, що позиціонуються «LoRa Alliance», є можливість автономної роботи кінцевих пристроїв аж до 10 років від одного акумулятора типорозміру AA за рахунок наднизького енергоспоживання LoRa-модемів (в режимі прийому даних – до 9,7 мА, в режимі передачі – до 140мА, в режимі сну – 200 нА); висока стійкість до перешкод.

В сучасних пристроях вимірювання температури використовуються цифрові датчики DS18B20 з низьким енергоспоживанням. Цей датчик можна налаштувати на роздільну

здатністю перетворення 9 - 12 розрядів і функцією тривожного сигналу контролю за температурою. Параметри контролю можуть бути задані користувачем та збережені в незалежній пам'яті датчика. DS18B20 обмінюється даними з мікроконтролером з допомогою одного дроту, використовуючи протокол 1-Wire. Діапазон вимірювання температури становить від -55 до +125 °С. Для діапазону від -10 до +85 °С похибка не перевищує 0,5 °С. Кожна мікросхема DS18B20 має унікальний серійний код довжиною 64 розряду, який дозволяє кільком датчикам підключатися на одну загальну лінію зв'язку. Тобто через один порт мікроконтролера можна обмінюватись даними з кількома датчиками, розподіленими на відстані до 300м. Режим дуже зручний для використання в системах екологічного контролю, моніторингу температури в будинках, вузлах обладнання.

Для створення датчиків розглядалися різні мікроконтролери та передавачі компанії Semtech. Для датчиків було обрано мікроконтролер серії STM32, який забезпечує наступні характеристики: 32-bit архітектуру; різні інтерфейси для програмування; програмування мікроконтролерів з використанням різних IDE; вбудований модуль бездротової мережі LoRa; сертифікати протоколу LoRaWAN.

Таким чином, використання розробленої системи моніторингу температури дає можливість навчитися аналізувати та досліджувати об'єкт, створювати елементи системи моніторингу, налагоджувати їх взаємодію через бездротові засоби зв'язку, розробляти візуалізацію та інтерфейс користувача, який можна використовувати для дистанційного керування.

#### IV. ВИСНОВКИ

На основі аналізу технічних характеристик наявних у продажі пристроїв вимірювання температури, які використовують цю мережу, розроблено нову схему датчика температури, яка відповідає основним вимогам сучасного автоматизованого виробництва, а саме – надійність, економічність та простота використання.

Розроблено систему моніторингу температури на основі бездротової технології з протоколом LoRaWAN, яка дозволяє вивчати технологію IoT від створення вимірювальних пристроїв до налаштування серверу та створення сторінок візуалізації отриманих даних.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] H. Zhang, Q. Zhang, Y. Li and Y. Yang, "Design of Intelligent Temperature Monitoring System Using ZigBee Network and TMP102 Sensor Technology," 2022 International Conference on Computers, Information Processing and Advanced Education (CIPAE), Ottawa, ON, Canada, 2022, pp. 446-449, doi: 10.1109/CIPAE55637.2022.00099.
- [2] M. -F. Chen, H. -C. Chiu, K. -S. Tseng, Y. -C. Yang, C. -Y. Chou and J. -A. Jiang, "An IoT-based Temperature Monitoring System for Underground Cable Tunnels," 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia), Bangkok, Thailand, 2019, pp. 960-964, doi: 10.1109/GTDAAsia.2019.8715849.
- [3] H. Wang, J. Zhang, F. Zhao and Y. Jiang, "Research and Design of Online Monitoring Device for Temperature Rise of Cable Joints of Ring Network Cabinet," 2020 International Conference on Wireless Communications and Smart Grid (ICWCSG), Qingdao, China, 2020, pp. 163-167, doi: 10.1109/ICWCSG50807.2020.00043.
- [4] X. Huang, Z. Li and Y. Zhu, "The System of Temperature Rise Monitoring and Temperature Prediction for Power Equipment," 2018 Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), Perth, WA, Australia, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/CMD.2018.8535885.
- [5] H. Tan, X. Chen, J. Ma and Y. Tan, "A design of substation temperature online monitoring system based on SAW temperature sensor," 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), Chengdu, China, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICHVE.2016.7800780.
- [6] I. Hurezeanu, C. I. Nicola, D. Sacerdoțianu, M. Nicola, A. M. Aciu and M. C. Nițu, "Temperature control and monitoring system for power transformer windings using fiber optic sensors," 2016 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), Bucharest, Romania, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISFEE.2016.7803151.
- [7] Kotsur, M. I., Yarymbash, D. S., Bezverkhnya, Y. S., & Kotsur, I. M. "Accuracy improvement for the determination of parameters and voltage drops in busbars, considering the networks power factor," Problems of the Regional Energetics, 2021, (3), pp. 37-52. doi:10.52254/1857-0070.2021.3-51.04

- [8] N. Ostroverkhov and N. Buryk, "Control System with Field Weakening of Synchronous Motor Drive," 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, Ukraine, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240903.
- [9] M. Ostroverkhov and D. Trinchuk, "Increasing the Efficiency of Electric Vehicle Drives with Supercapacitors in Power Supply," 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 258-261, doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160291.
- [10] A. Jamal, D. D. AL Narayanasamy, N. Q. Mohd Zaki and R. A. Abbas Helmi, "Large Hall Temperature Monitoring Portal," 2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), Selangor, Malaysia, 2019, pp. 62-67, doi: 10.1109/I2CACIS.2019.8825017.
- [11] M. Zaluzhnyi, O. Nazarova, Y. Krysan and A. Pyrozhok, "Laboratory Stand for Studying the Automated Air Temperature Monitoring System Using IoT Technologies," 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-5.

# The state and tasks of metrological support for hardness measurements according to the Leeb scales

Yurii Huran, Maryna Kononenko, Nadiia Hablovska

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
Ivano-Frankivsk, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

One of the fundamental properties of materials that determines their reliability and ability to resist plastic deformation is hardness. Hardness measurement is the most accessible and easily implemented method for determining the mechanical properties of materials in practice, allowing hardness measurements to be conducted on real structures without their destruction and obtaining characteristics of those parts of the structure that require careful monitoring [1]. Consequently, the current challenge in modern hardness testing is to increase the accuracy of material hardness measurements, as well as the precision in determining the mechanical characteristics of materials based on hardness readings. This, in turn, requires the improvement of the metrological support system for hardness measurement tools.

## II. ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

The measurement of hardness is the most common among all mechanical tests, both in research and in quality control of production under industrial conditions. Knowing the hardness allows quickly determining the material's strength and ductility limits, which is crucial for practical engineering tasks. Static and dynamic methods are used to determine hardness [1]. Static methods include the Brinell, Rockwell, and Vickers methods [2]. In the early 1970s, dynamic hardness measurement methods gained wide development, including the Leeb method, based on measuring the ratio of impact velocities before and after collision with the surface of the test sample [3]. Theoretical and practical studies of the foundations of dynamic hardness measurement methods were conducted by several foreign [4] and domestic scientists [1]. The widespread use of Leeb-type hardness testers necessitates an analysis of the metrological support for these devices, which is the focus of this work.

## III. MAIN MATERIAL PRESENTATION

At present, the requirements for the metrological characteristics of Leeb hardness testing instruments are regulated by a number of international standards that describe the method of hardness measurement using this method. In particular, standard [5] establishes requirements for the technical parameters of measuring transducers during element-by-element verification (calibration), as well as requirements for the calibration results using standard hardness reference blocks.

The metrological support for Leeb hardness measurements is based on traceability to primary standards that reproduce the fundamental scales of this method [6]. Such standards are available in Germany and China. In this regard, the transfer of hardness scales to working measurement instruments is ensured by hardness reference blocks specifically designed for the Leeb method. However, the actual verification is performed using hardness scale blocks for static rather than

dynamic hardness testers. Consequently, the instrument will provide accurate measurement results only for materials from which the calibration blocks were made. Users of these instruments are misled about their capabilities and metrological characteristics.

A hardness tester that does not correspond to the standard for a particular hardness scale in terms of its design, measurement method, indenter shape, hardness value calculation algorithm, and other significant parameters cannot be calibrated for that scale within existing verification schemes.

Therefore, the practice of using dynamic hardness testers for monitoring the condition of products made of steels and alloys during extended service life can lead to equipment failure and emergencies. This clearly indicates the negative consequences of hardness tester calibration results due to the use of static hardness scale blocks.

Despite the fairly long history of using dynamic hardness testers, in Ukraine, only in 2023, the standard DSTU EN ISO 16859-1:2022 Metallic materials - Leeb hardness testing - Part 1: Test method (EN ISO 16859-1:2015, IDT; ISO 16859-1:2015, IDT) came into force in English. Parts 2 and 3 of this standard are also in effect but have not yet been translated into the state language. This fact clearly hinders the development of metrological support for hardness measurements and does not allow ensuring the proper accuracy of hardness measurements using Leeb scales.

Therefore, it can be concluded that a way out of this complex situation may be found, first, in defining requirements and developing technology for manufacturing hardness reference blocks for Leeb scales and, second, in developing a scheme for transferring hardness units according to Leeb scales (calibration scheme) that ensures traceability of hardness measurement results to the primary standard and complies with international standards.

#### LITERATURE

1. Технологія конструкційних матеріалів. Практикум: Навч. посібник / В.М. Плєскач, І.П. Волчок. - Запоріжжя: Дике Поле, 2007. - 168 с.
2. Petik, F. The Unification of Hardness Measurement. Paris: BIML, 1991, p. 66-69.
3. Formisano, A. Leeb hardness experimental tests on carpentry steels: Surface treatment effect and empirical correlation with strength / A. Formisano, G. Chiumiento, G. Di Lorenzo // AIP Conf. Proc. 1978, (2018)
4. Kren, A.P. Influence of the Dynamic Indentation Parameters on the Behavior of Metals during the Penetration of an Indenter with a Spherical Tip / A.P., Kompatscher, M. Dynamic Hardness Measurements / M. Kompatscher // MAPAN - Journal of Metrology Society of India, Vol. 20, №1, 2005, pp. 25-36
5. ДСТУ EN ISO 16859-3:2022 (EN ISO 16859-3:2015, IDT; ISO 16859-3:2015, IDT), Metallic materials - Leeb hardness test - Part 3: Calibration of reference test blocks, 2015.
6. Schwenk, D. Leeb hardness-calibration-machine / D. Schwenk // IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 Conferences Metrology in Modern Context, Pattaya, Thailand, 2010, p. 369-372.

СЕКЦІЯ 6



# ХІМІЧНА ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

# Розділення дисперсної фази у нестандартному циклонному теплообміннику обертової печі

Валерій Щербина, Денис Швачко, Людмила Гур'єва

*КПІ ім. Ігоря Сікорського  
м. Київ, Україна*

## I. ВСТУП

Теплові агрегати з обертовою піччю широко застосовуються в багатьох галузях промисловості де використовуються для термічної обробки сипких матеріалів [1]. Однак найбільш широке розповсюдження вони отримали в промисловості будівельних матеріалів, де є основними установками для виробництва цементного клінкеру, керамзиту, вапна, перліту та інших матеріалів.

Ефективність застосування цих агрегатів в значній мірі залежить від раціонального використання палива і правильного вибору технологічної схеми, що забезпечує надійну та продуктивну роботу [2, 3]. Тому вдосконалення складових елементів теплових агрегатів з покращенням їх енергетичної ефективності є вкрай актуальним питанням сьогодення.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

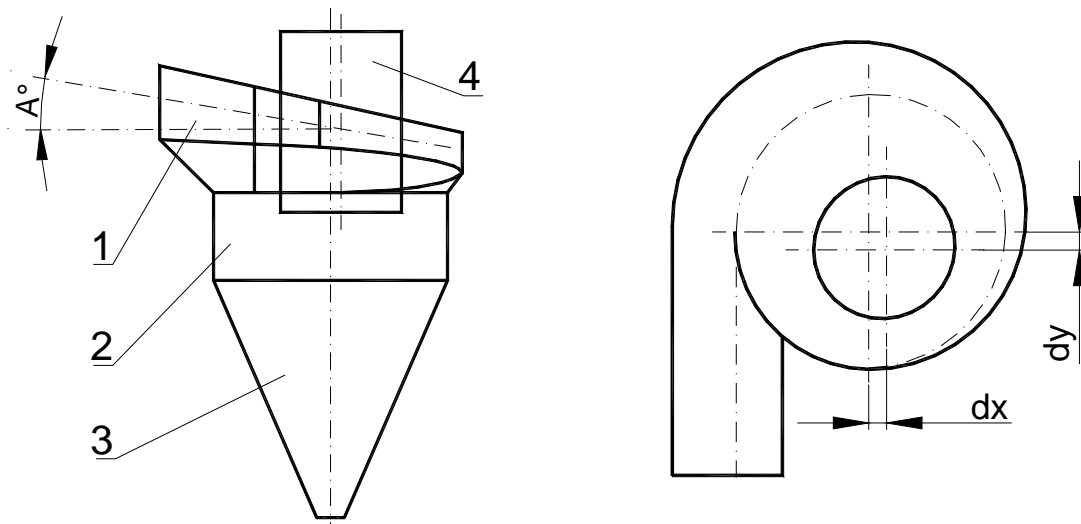
У технологічній лінії виробництва цементного клінкеру запічний циклонний теплообмінник є основним апаратом для попередньої підготовки сировинного матеріалу. При цьому забезпечується ефективний теплообмін між гарячими газами, що утворюються в печі, та матеріалом, що потрапляє в обертову піч [3, 4]. Важливими показниками якості роботи теплообмінника є ефективність поділу та аеродинамічний опір [5]. Чим кращі ці показники, тим ефективніша робота теплообмінника у технологічному процесі. Підвищити ефективність поділу та зменшити аеродинамічний опір, або втрати тиску, можливо шляхом зміни конструкції теплообмінника [6].

В роботі проводилося дослідження аеродинамічних характеристик та процесів поділу дисперсної фази в теплообміннику. При цьому розглядався циклонний теплообмінник зміненої конструкції, ефективність якого вища у порівнянні з існуючими апаратами, що відкриває широкі перспективи для його впровадження у технологічних процесах.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для зниження аеродинамічного опору та підвищення ефективності роботи теплообмінника як розділового апарата вхідний патрубок встановлюється під кутом до горизонтальної площини, що дозволяє направити газопилову суміш безпосередньо в роздільну камеру рис. 1. Це дозволяє зменшити турбулентні пульсації, викликані різкою зміною напрямку руху носія при переході від вихідного патрубка до циліндричної камери [4]. Вісь вхідного патрубка зміщена відносно осі теплообмінника, діаметрально відносно вхідного патрубка. Конструктивна схема пропонуваного теплообмінника наведена на рис.1.

Для рішення задачі використовується математична модель реалізована у відомому пакті прикладних програм Fluent [6, 7]. При моделюванні потоку в теплообміннику використана модель тривимірної турбулентної течії з інтенсивним обертанням потоку –"RSM", тобто рішення рівняння переносу виконується за допомогою тензора напружень Рейнольдса. Як алгоритм рішення обраний метод контрольного об'єму. При цьому застосовується SIMPLE алгоритм, що зв'язує значення швидкості й тисків.



1 - вхідний патрубок; 2 - циліндрична частина; 3 - конічна частина; 4 – вихідна труба;  $A^0$  – кут зміни нахилу вхідного патрубка; dx, dy – змінні розміри, для установки вихідного патрубка.

Рисунок 1 – Схема конструкції запічного теплообмінника

Для визначення основних геометричних параметрів, за винятком нахилу та зміщення вихідного патрубка, використовувались дані по базовій конструкції теплообмінника. Діаметр зовнішнього циліндра становить 6728мм. Вхідний нестисливий турбулентний потік подається в теплообмінник з швидкістю 17м/с та температурою 800 °С.

Результати числового моделювання теплообмінника без нахилу вхідного потоку, але з зміщенням вихідного патрубка наведено на Рис. 2. Кут нахилу верхньої частини  $0^{\circ}$  (без нахилу). Відстань зміщення вихідного патрубка 0, 100×100, 200×200, 300×300 (в міліметрах). По осі абсцис вказується зміщення в міліметрах, по осі ординат ефективність поділу у %, та тиск в Па.

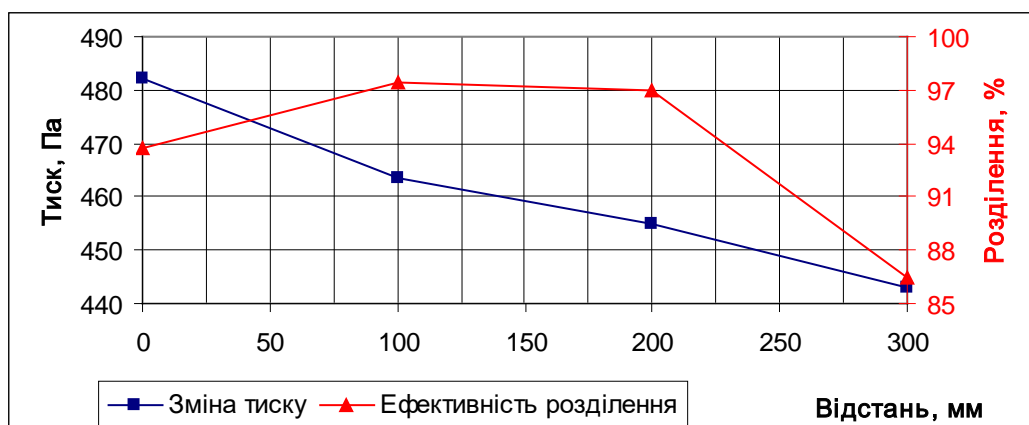


Рисунок 3.1 – Ефективність розділення та зміна тиску при зміщенні патрубка

З графіків видно, що в міру збільшенні відстані зміщення ефект розділення теплообмінника збільшується для відстані 100 мм та 200 мм, але при відстані 300 мм зменшується, у той же час втрати тиску постійно зменшуються. Щоб отримати більший ефект розділення й меншу втрату тиску, необхідно вибрати оптимальну відстань зміщенні вихідного патрубка. Таким чином для теплообмінника, що розглядається, найбільш ефективним може бути зміщення вихідного патрубка в межах від 100мм до 200мм.

Залежність між ефектами поділу і нахилом верхньої частини при зміщенні вихідного патрубка 200мм×200мм наведено на Рис. 3. Кут нахилу верхньої частини  $0^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ . Відстань зміщення вихідного патрубка: 200мм×200мм.

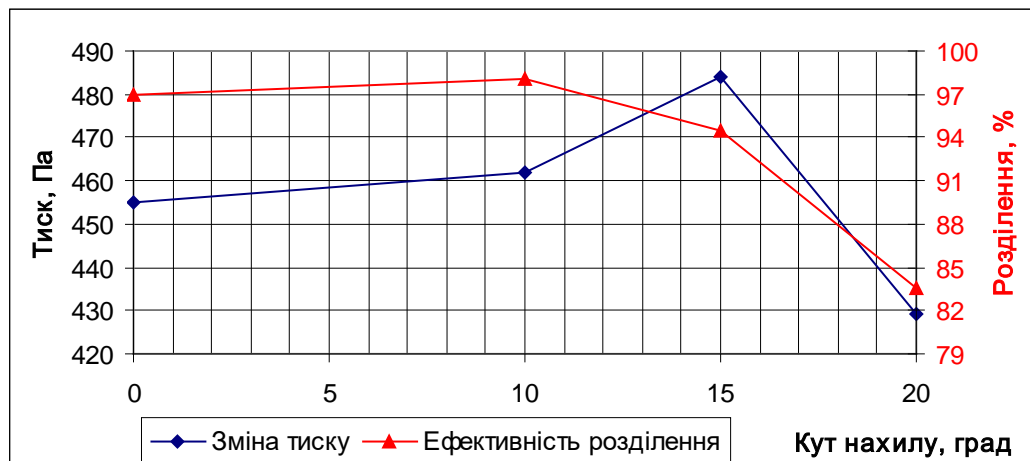


Рисунок 3– Ефективність розділення та зміна тиску при зміні кута нахилу

З рисунка видно, що ефект розділення й втрати тиску, зі збільшенням кута нахилу верхньої частини, збільшуються при куті нахилу  $10^{\circ}$  –  $15^{\circ}$ , але при  $20^{\circ}$  зменшуються. Ефективність розділення досягає максимального значення при куті близько  $10^{\circ}$ , а втрата тиску відбувається при куті нахилу близько  $15^{\circ}$ . Якісна роботи теплообмінника визначається виходячи з високої ефективності розділення й мінімальних втрат тиску. Тому кут нахилу при зміщенні вихідного патрубку  $200\text{мм}\times 200\text{мм}$ , для даного теплообмінника, можна вибрати рівним  $10^{\circ}$ , як найбільш прийнятний.

#### IV. ВИСНОВКИ

При зміні конструктивних елементів – верхньої частина з нахилом та зміщеним вихідного патрубка, величина колової швидкості змінюється несуттєво, а осьова швидкість збільшується за рахунок відхилення обертального потоку і зміщення відносно осі обертання. Це є діючим чинником для підвищення ефективності розділення теплообмінника.

При збільшенні відстані зміщення вихідного патрубка, ефективність розділення теплообмінника збільшується, а потім зменшується, при зменшенні тиску. При збільшенні кута нахилу вхідного патрубка, ефективність розділення та втрати тиску спочатку збільшуються, а потім зменшуються.

Проектуючи теплообмінник, необхідно обирати раціональні значення кута нахилу вхідного патрубка та відстань для зміщення вихідного патрубка. Для досліджуваної конструкції ці значення склали:  $10^{\circ}$  для кута нахилу,  $200\text{мм}\times 200\text{мм}$  величини зміщення.

#### V. ЛІТЕРАТУРА

- [1] Boateng, A.A.: Rotary Kilns Transport Phenomena and Transport Processes, First ed. Jordan Hill, Oxford (2008).
- [2] Kurdowski, W., & Jelito, E. (2020). Rotary kilns in current cement industry. [Piece obrotowe w dzisiejszym przemyśle cementowym] Cement, Wapno, Beton, 2020(2), 127-136. doi:10.32047/CWB.2020.25.2.5
- [3] Щербина В.Ю. Розвиток теорії та удосконалення технологічних процесів при виробництві будівельних матеріалів у високотемпературних агрегатах: дисертація ... д.т.н.: 05.17.08 / Щербина В.Ю.; Київ, 2017. 393 с. URL:<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21630>
- [4] Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондях О.В. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. 131с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45734>
- [5] Щербина В.Ю. "Моделювання процесу сепарації в циклонних вихрових апаратах". Вісник НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2019. №1(18). с. 40-51. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2019.171037>
- [6] 张佑林, 刘伟华, В.Ю. Щербина(谢尔宾纳). Mathematical models for the cyclone stove heater. CHINA CEMENT. – 2006.–№8.–p. 45-47
- [7] Guo, Q., Wang, Q., Lu, X., Ji, P.: Numerical Simulation for a CFB Boiler's Cyclone Separator with Structure Optimizations. In Clean Coal Technology and Sustainable Development, Springer: Singapore pp. 257–263 (2016).

# Фазовий склад зв'язувального матеріалу, синтезованого нагріванням суміші ортофосфорної кислоти з дистен-силіманітом

Ростислав Лютий<sup>1</sup>, Іван Петрик<sup>2</sup>, Василь Попович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

## I. ВСТУП

Протягом попередніх двох десятиріч спостерігається стабільна тенденція до заміни органічних зв'язувальних матеріалів, зокрема широкого спектру синтетичних смол (особливо тих, які містять фенол, формальдегід та фурфурол), на неорганічні матеріали для виготовлення ливарних стрижнів [1]. Їх переваги з точки зору екології та ресурсозбереження не викликають сумнівів [2]. Однак, незважаючи на це, розширення їх комерційного використання потребує постійних технічних удосконалень [3].

Особливе місце серед неорганічних зв'язувальних матеріалів займають фосфати. Завдяки ряду цінних властивостей вони знайшли застосування як термостійкі та корозійностійкі покриття, клеї, жаростійкі бетони, компоненти пористої кераміки. Ряд спеціалістів у галузі ливарного виробництва підтверджують, що фосфатні матеріали у складі стрижневих сумішей мають переваги перед смоляними не тільки з огляду на екологію, але і за рядом технологічних показників.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Велике поширення в різних галузях техніки мають зв'язувальні матеріали, які базуються на фосфатах алюмінію [4]. Серед відомих на сьогодні прикладів переважає попередньо виготовлений на хімічних підприємствах алюмофосфатний зв'язувальний матеріал, який являє собою продукт неорганічного синтезу. Також існують комплексні матеріали на його основі, які додатково містять Cr, Mg, B, Fe, Ca, Zn, інколи навіть Na. Однак технології синтезу комплексних зв'язувальних матеріалів тривалі та багатоопераційні, вони непридатні до ливарних підприємств.

Алюмосилікатні вогнетривкі матеріали є доступними і поширеними, тому в широкому колі наукових робіт їх розглядають як потенційну сировину для створення алюмофосфатних зв'язувальних матеріалів. Наприклад, протягом багатьох десятиріч схеми взаємодії корунду, шамоту або каолініту з ортофосфорною кислотою використовують для виготовлення вогнетривких виробів, які піддають спіканню за температур 900...1300 °С [5]. При цьому відзначається, що температура попереднього затвердіння розроблених вогнетривких сумішей складає близько 300 °С, що технологічно допустимо для ливарних стрижнів.

У наших попередніх дослідженнях вперше розглянуто варіанти отримання алюмофосфатних зв'язувальних матеріалів безпосередньо в складі стрижневих сумішей під час їх теплового твердіння [6]. Фосфати алюмінію із достатньо високим зв'язувальним потенціалом отримано в результаті хімічної взаємодії ортофосфорної кислоти  $H_3PO_4$  з пилоподібними промисловими продуктами (алюмовмісні шлаки та шлами, неорганічні солі алюмінію), а також з алюмінієвою пудрою [7].

Також у результатах досліджень, викладених у [8], встановлено фазовий склад фосфатів кремнію та цирконію, які утворюються після взаємодії пилоподібних кварцу та циркону з

ортофосфорною кислотою. Також встановлено динаміку зміни фазового складу цих фосфатів під час нагрівання від 20 до 1000 °С. Щодо взаємодії ортофосфорної кислоти з дистен-силіманітом  $Al_2SiO_5$ , було отримано результат, який є непрямим свідченням утворення зв'язки. Твердіння суміші ортофосфорної кислоти з дистен-силіманітом дійсно відбувається в температурному інтервалі 250...300 °С, однак підтвердження щодо можливих хімічних сполук, які забезпечують твердіння, немає. Також не досліджено їх стійкість, зокрема в процесі нагрівання, що важливо для використання у ливарній технології.

Зважаючи на стан вивченості питання, у цій статті представлено результати дослідження алюмофосфатного зв'язувального компонента, синтезованого в результаті хімічної взаємодії ортофосфорної кислоти з пилоподібним дистен-силіманітом. Предметами дослідження є фазовий та хімічний склад, а також динаміка його термічних перетворень в процесі нагрівання від 20 до 1000 °С.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Фазовий склад визначали рентгенофазовим аналізом на дифрактометрі «RIGAKU» моделі «Ultima IV». Для цього попередньо змішано пилоподібний дистен-силіманіт у кількості 7 мас. ч. з 85%-м розчином ортофосфорної кислоти у кількості 3 мас. ч., пробу нагріто до температури 300 °С та потім охолоджено.

За даними рентгенофазового аналізу встановлено наявність чотирьох кристалічних фаз – дистен-силіманіту, ортофосфату алюмінію (близько 18%), кварцу та кремнієвої кислоти. При цьому, як видно із характеру дифрактограми, наведеної на рис. 1, невстановлена частина проби має аморфний характер.

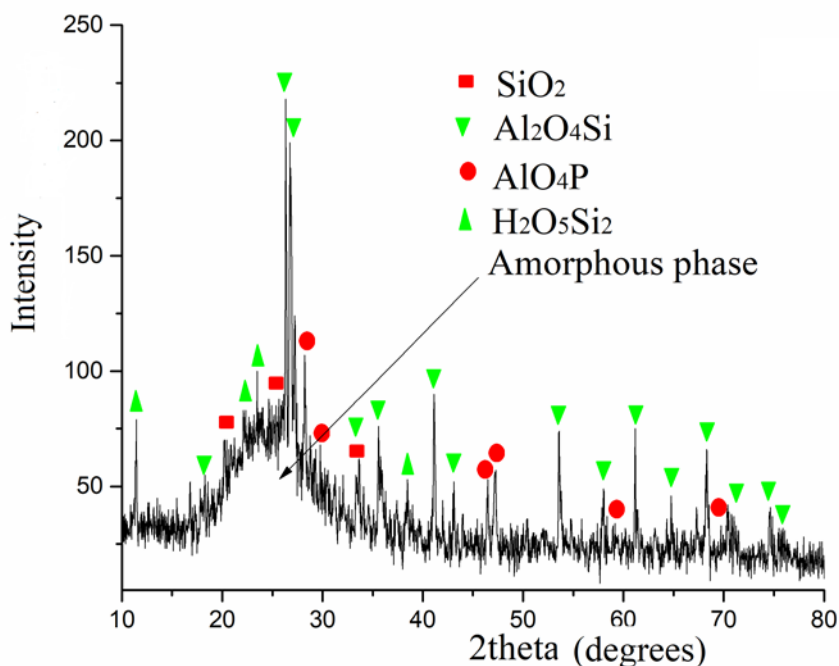
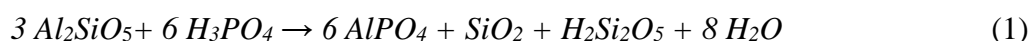


Рисунок 1 – Дифрактограма проби дистен-силіманіту з ортофосфорною кислотою після нагрівання до температури 300 °С та охолодження

Таким чином, підтверджено утворення зв'язувального матеріалу в цій суміші, яким є, безперечно, ортофосфат алюмінію. Наявність значної кількості дистен-силіманіту в цій пробі пояснюється тим, що його було попередньо змішано з ортофосфорною кислотою у значному надлишку. Виявлені в пробі кварц і кремнієва кислота утворилися в результаті наступної хімічної реакції:



Аморфна частина проби, найбільш ймовірно, представляє собою також ортофосфат алюмінію. Його утворення, а також рентгенографічну схожість кристалічного ортофосфату алюмінію з кварцом, слід вважати основними чинниками, які значною мірою ускладнили встановлення фазового складу в цій системі в попередніх наукових роботах.

Високотемпературні перетворення досліджували методом диференційного термогравіметричного аналізу з використанням синхронного термічного аналізатора «STA 449 C Jupiter».

Після остаточного встановлення фазового складу утвореної проби, яка затверділа в результаті утворення алюмофосфатного зв'язувального матеріалу, досліджено динаміку його перетворень під час нагрівання (графік термоаналізу наведено на рис. 2).

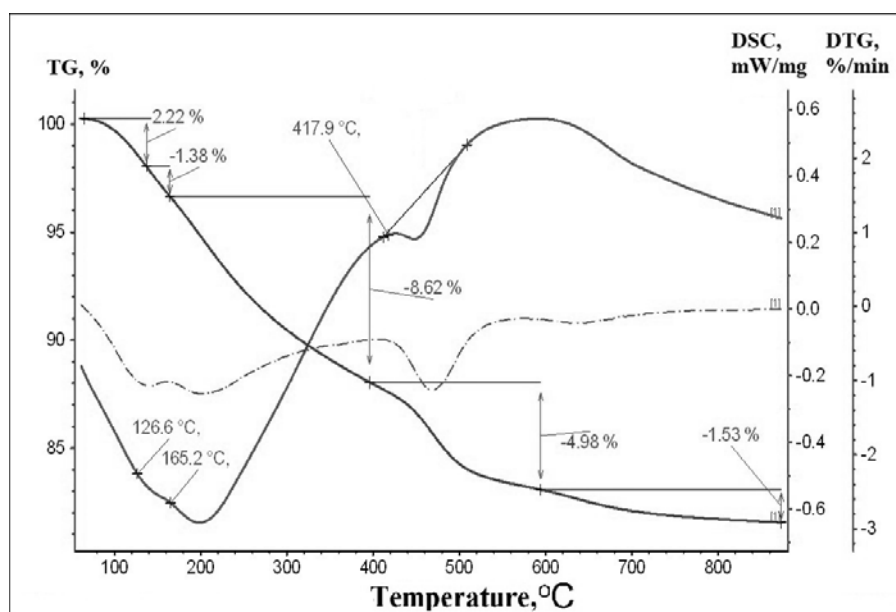


Рисунок 2 – Диференційний термогравіметричний аналіз проби дистен-силіманіту з ортофосфорною кислотою після нагрівання до температури 300 °С та охолодження

На графіку виявлено два мало виражених ендотермічних ефекти за температури до 200 °С. Їх слід пояснити наявністю в пробі гігроскопічної фази  $H_2Si_2O_5$ .

За температури 417,9 °С зафіксовано ендотермічний ефект, який супроводжується стрибкоподібним, але незначним, зменшенням маси. Очевидно, цей ефект пов'язано із розпадом фази  $H_2Si_2O_5$ , в результаті якого видаляється  $H_2O$ .

Загальне плавне тепловиділення в інтервалі 200...500 °С – результат переходу ортофосфату алюмінію  $AlPO_4$  із аморфної в кристалічну форму. Нагрівання вище температури 500 °С не показує жодного теплового ефекту, тобто ортофосфат алюмінію (так само як кварц і дистен-силіманіт) у незмінному вигляді зберігаються до 1000 °С. Термічна стабільність системи дає можливість використати її у складі ливарних стрижнів.

#### IV. ВИСНОВКИ

1. Вперше досліджено механізм взаємодії дистен-силіманіту з ортофосфорною кислотою і показано, що в результаті хімічної взаємодії між ними, яка відбувається під час нагрівання до 300 °С, окрім зв'язувального компонента (ортофосфату алюмінію) та залишкового SiO<sub>2</sub>, утворюється додатковий продукт – різновид кремнієвої кислоти H<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, якого не виявлено у жодній іншій системі ортофосфорної кислоти з алюмосилікатами.

2. Встановлено, що в суміші ортофосфорної кислоти з дистен-силіманітом після їх хімічної взаємодії ортофосфат алюмінію розподілено між кристалічним та аморфним станами, а загальна його кількість забезпечує міцне зв'язування часточок вогнетривкого наповнювача.

3. Показано, що утворений алюмофосфатний зв'язувальний компонент є термічно стабільним та не має поліморфних перетворень в процесі нагрівання до 1000 °С. При цьому ортофосфат алюмінію в інтервалі температур 200...500 °С змінює аморфну будову на кристалічну. Вказані особливості дають змогу розробити суміш для виготовлення ливарних стрижнів на основі дослідженого алюмофосфату.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] F. Czerwinski, M. Mir and W. Kasprzak (2015) Application of cores and binders in metalcasting // *International Journal of Cast Metals Research*, 28:3, 129-139, DOI: 10.1179/1743133614Y.0000000140
- [2] F. Banganayi, D. Nyembwe and H. Polzin (2020). Optimisation of an Environmentally Friendly Foundry Inorganic Binder Core Making Process for the Replacement of an Organic Binder // *MRS Advances*, 5(25), 1323-1330. doi:10.1557/adv.2020.225
- [3] A. Fortini, M. Merlin and G. Raminella. A Comparative Analysis on Organic and Inorganic Core Binders for a Gravity Diecasting Al Alloy Component // *Inter Metalcast* 16, 674–688 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40962-021-00628-1>
- [4] J. Bennett, A. Nakano, J. Nakano and H. Thomas. Aluminum Phosphate Phase Changes Caused by the Exposure Environment National Energy Technology Laboratory // USDOE, USA; 2 LRST, USA
- [5] V. Hopp, A. Masoudi Alavi, D. Hahn and P. Quirnbach (2021). Structure–Property Functions of Inorganic Chemical Binders for Refractories. *Materials*, 14(16), 4636. <https://doi.org/10.3390/ma14164636>
- [6] R. Liutyi, M. Tyshkovets and D. Liuta. Foundry core mixtures with orthophosphoric acid and different aluminum-containing compounds // *Physics and chemistry of solid state*. – 2020. – V. 21, N 1. – P. 176-184. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.1.176-184>
- [7] I. Petryk, R. Liutyi, A. Kocheshkov, O. Myslyvchenko and D. Liuta. Creation of self-hardening aluminum phosphate binders for manufacturing foundry cores. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2023.100114>
- [8] R. Liutyi, D. Liuta and I. Petryk. Structural Construction of Binders Based on Orthophosphoric Acid and Refractory Materials // *Advances in Materials Science and Engineering*. – Vol. 2021. DOI: 10.1155/2021/6667769

# Жаростійкі та вогнетривкі бетони на основі промислових відходів

Михайло Лемешев, Олег Березюк

*Вінницький національний технічний університет  
м. Вінниця, Україна*

## I. Вступ

В даний час проблема одержання жаростійких бетонів тісно пов'язана як з покращенням технологічних та експлуатаційних властивостей матеріалу, так і з використанням техногенної сировини, можливості якої для цих цілей недостатньо досліджені [1]. У зв'язку з цим практичний інтерес становить розробка нових видів жаростійких бетонів, що виробляються на основі різних промислових відходів та побічних продуктів.

Що стосується виробництва жаростійких бетонів особливе місце займають алюмосилікатні сполуки каркасної структури, аналогічні природним цеолітам. З'єднання цеолітової структури, що є основою лужних і лужно-лужно-земельних в'язучих, здатні гідратуватися без руйнування жорсткого алюмосилікатного каркаса до температур 920-1100°C залежно від співвідношення  $Al_2O_3$  [2-3].

Вміст цементуючої речовини в бетоні легко піддається регулюванню шляхом дозування його компонентів, умов та режимів формування структури на основі відомих із загального бетонознавства методів. Хімічний та фазовий склад цементуючої речовини жаростійких бетонів можна регулювати, змінюючи хіміко-мінералогічний склад в'язучих [4]. Тому розробка нових видів в'язучих для отримання жаростійких бетонів має важливе наукове та прикладне значення.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз опублікованих робіт показав, що в даний час є актуальними розробки ефективних складів жаростійких бетонів для використання їх у широкому діапазоні температур (1000-1700 °C), а також технологій виробництва жаростійких виробів на їх основі [5-6].

За сучасних умов зведення та ремонту теплових агрегатів потрібний швидкий темп введення їх в експлуатацію. У зв'язку з цим найперспективнішими в'язучими для отримання жаростійкого бетону є в'язучі зі швидкими термінами твердіння [7-8]. До таких видів в'язучих можна віднести глиноземистий (ГЦ), високоглиноземний цемент (ВГЦ) та високоглиноземистий корозійностійкий цемент (ВГКЦ) [9]. При цьому високоглиноземистому цементу можуть пред'являтися досить високі вимоги щодо його складу. За даними ряду опублікованих робіт ВГКЦ повинен містити 72-75% оксиду алюмінію та 22-25% оксиду кальцію; інших оксидів, таких як  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  та ін, має міститися мінімальна кількість [10-11].

Відомо, що після високотемпературного нагрівання міцність жаростійкого бетону істотно знижується. У дослідженнях, проведених авторами [12-13], встановлено, що найкращими жаростійкими властивостями володіє гідратований аліт, основний мінерал портландцементного клінкеру  $3CaO \cdot SiO_2$ , який майже не знижує міцності при нагріванні до 1200°C.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Номенклатура сировинних матеріалів для приготування жаростійких бетонів може бути розширена за рахунок використання різних промислових відходів, серед яких значне місце займають металургійні шлаки. Аналіз хіміко-мінералогічного складу та властивостей шлаків заводів нашої країни показує, що багато з них можуть бути цінною сировиною для приготування компонентів жаростійких бетонів. Використання відходів дозволить розширити сировинну базу та сприятиме оздоровленню навколишнього середовища.

Найбільш перспективними сировинними матеріалами із металургійних шлаків є феросплави. На їх основі можна отримувати в'язучі, заповнювачі, тонкомолоті добавки для жаростійких та вогнетривких бетонів з температурою нагріву 800–1700°C. Для в'язучих жаростійких бетонів доцільно використовувати шлаки алюмінотермічного виробництва безвуглецевого ферохрому наступного складу, мас. %:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 50–60;  $\text{CaO}$  – 13–25;  $\text{MgO}$  – 10–20;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 3–12;  $\text{FeO}$  – 0,1–2;  $\text{SiO}_2$  – 0,5–5 [14].

Фазовий склад металургійних шлаків представлений алюмінатами складу  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  та  $12\text{CaO}\cdot7\text{Al}_2\text{O}_3$  та алюмомагнезіальною хромовмісною шпинеллю. При вмісті в шлаках  $\text{SiO}_2$  більше 4% вони при охолодженні можуть розпадатися за рахунок утворення  $\gamma$ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  [15]. За вмістом основних оксидів ці шлаки близькі до деяких видів вапняно-магнезіальних глиноземистих цементів, що широко застосовуються в зарубіжній практиці. Перевагою цих цементів є підвищений вміст шпинелі, що надає бетонам на їх основі високу вогнетривкість, стійкість в агресивних середовищах та малу усадку після нагрівання.

Встановлено, що після помелу шлаки безвуглецевого ферохрому набувають властивостей швидкотвердіючого гідравлічного в'язучого з міцністю у тридобовому віці 20–35 МПа. При вивченні жаростійких властивостей гідратованого шлакового в'язучого встановлено, що мінімальна залишкова міцність отриманого цементного каменю зразків після впливу температури 1200°C становить 35–60%; усадка 1,3–1,6%; вогнетривкість 1520–1540°C; температура деформації під навантаженням 0,2 МПа: початок розм'якшення 1220–1230°C; руйнування при 1400–1500°C [16–17]. В якості тонкомолотих добавок до жаростійких бетонів на портландцементі необхідно використовувати шлаки від виплавки феромолібдену, феромарганцю і силікомарганцю та ферохромові шлаки, що саморозпадаються [18]. Ферромолібденовий шлак, що утворюється в результаті силікотермічного виплавлення феромолібдену, являє собою безлужне скло. Хімічний склад таких шлаків представлений переважно оксидами:  $\text{SiO}_2$  – до 68%;  $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  – до 20%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – до 15% та у невеликих кількостях  $\text{CaO}$  та  $\text{MgO}$ . Це визначає їхню високу реакційну здатність щодо зв'язування вільного оксиду кальцію при нагріванні. Тонкомолотий шлак (з питомою поверхнею 350 м<sup>2</sup>/кг), введений у портландцемент у кількості 30–50% за масою забезпечує термічну стійкість цементного каменю в інтервалі температур 110–1000°C, як і тонкомолотий шамот. Вогнетривкість отриманого жаростійкого в'язучого становить 1030–1040°C [19].

Проведено дослідження, в результаті яких на основі фосфатного в'язучого та хромглиноземистого шлаку розроблено високовогнетривкий бетон. Встановлено, що в якості зв'язки можна застосовувати ортофосфорну кислоту 30–70% концентрації, а як заповнювачі шлак з максимальною крупністю зерен 10 мм. Бетон на 30% кислоті має здатність твердіти в природних умовах. Міцність цього бетону становить 35–50 МПа, а залишкова міцність після нагрівання до 1700°C знаходиться в межах 80–100% [20]. У процесі нагрівання до 1300°C такий бетон характеризується сталим об'ємом, а при вищій температурі має незначне розширення. Максимальна температура експлуатації бетону 1700°C. Шлаки феросплавного виробництва можуть застосовуватися для приготування не тільки важких, але й легких жаростійких бетонів.

Розроблено технологію виготовлення жаростійкого газобетону на фосфатному в'язучому та різних вогнетривких наповнювачах. При використанні тонкомолотого вогнетривкого наповнювача шлаку виплавки металевого хрому отримано фосфатний

газобетон із середньою щільністю 400-800 кг/м<sup>3</sup>, міцністю на стиск 1-6 МПа, температурою застосування 1350-1400°C [21]. З такого бетону можна виготовляти вироби будь-якої конфігурації. Також можна отримати заповнювач типу керамзиту фракції 0,14-20 мм з насипною щільністю 500-850 кг/м<sup>3</sup>, вогнетривкістю вище 1700°C [22], а основі такого заповнювача легкі бетони вогнетривкістю 1200-1500°C.

#### IV. ВИСНОВКИ

Таким чином, використання шлакових складових дозволяє розширити сировинну базу, знизити вартість жаростійких бетонів, заощадити значну кількість цементу, у ряді випадків отримувати бетони з кращими показниками ніж на традиційних складових.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Hladyshv, D., et al. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions. International Science Group, 2023.
- [2] Beresjuk, O., et al. Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. Vol. 1. International Science Group, 2022.
- [3] Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).
- [4] Kornyllo, I., O. Gnyp, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
- [5] Lemeshev, M., O. Bereziuk, and K. Sivak. "Features of the use of industrial waste in the field of building materials." Scientific foundations in research in Engineering. 1.2: 25–32. (2022).
- [6] Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021
- [7] Hladyshv, D., et al. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture. International Science Group, 2023.
- [8] Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc–International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
- [9] Лемешев, М. С., Сівак, К. К., Стаднійчук, М. Ю. (2021). Сучасні підходи комплексної переробки промислових техногенних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 31(2), 37-44.
- [10] Bereziuk, O., M. Lemeshev, and A. Cherepakha. "Ukrainian prospects for landfill gas production at landfills." Theoretical aspects of modern engineering: 58-65. (2020).
- [11] Лемешев, М. С., М. Ю. Стаднійчук "Жаростойкое вяжущее на основе промышленных отходов." Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: 168-171. (2019).
- [12] Lemeshev, M., et al. "Complex binder based on industrial man-made waste." Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: 51–59. (2023).
- [13] Lemeshev, M., O. Bereziuk, and K. Sivak. "Features of the use of industrial waste in the field of building materials." Scientific foundations in research in Engineering. 1.2: 25–32. (2022).
- [14] Лемешев, М. С., О. В. Христинич, and О. В. Березюк. "Дрібнозернистий бетон з модифікованим заповнювачем техногенного походження." Materiały XI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Naukowa przestrzeń Europy–2015». Sp. z oo «Nauka i studia», 2015.
- [15] Лемешев М. С. Особливості використання промислових техногенних відходів в галузі будівельних матеріалів / М. С. Лемешев, К. К. Сівак, М. Ю. Стаднійчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2020. – № 2.
- [16] Медведь, Я. О. Спеціальні жаростійкі бетони з використанням промислових відходів. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
- [17] Іванов, О. А. Композиційний жаростійкий бетон з використанням відходів виробництва. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
- [18] Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
- [19] Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 p. (2020).
- [20] Лемешев, М. С., et al. "Перспективи використання техногенної сировини при виробництві композиційних вяжучих." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. № 2: 36-45. (2022).
- [21] Sivak, K., Use of industrial waste for increased experimental properties in construction. Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2023.
- [22] Лемешев, М. С., О. В. Христинич, and О. В. Березюк. "Комплексна переробка техногенних відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв." Materiály XI Mezinárodní vědecko-praktická konference «Aktuální vymoženosti vědy–2015». Publishing House «Education and Science» sro, 2015., 2015.

# Дослідження структури і властивостей зносостійких евтектичних покриттів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr

Володимир Голубець

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

Михайло Пашечко

*Люблінський політехнічний університет  
м. Люблін, Польща*

## I. ВСТУП

Розвиток сучасної промисловості в значній мірі залежить від розвитку нових інноваційних технологій які дозволяють суттєво підвищити якість продукції при одночасній мінімізації її коштів. Особливого значення набирають проблеми, пов'язані з довговічністю машин і пристосіблень при одночасному бережливому використанні матеріалів для їх виготовлення [1,2]. Найбільш ефективним рішенням цієї проблеми є захист робочих поверхонь елементів машин і пристосіблень, які працюють в умовах тертя. Доцільним є нанесення покриттів із заданими функціональними властивостями.

Великий науковий інтерес і широке практичне застосування знайшли покриття з евтектичною структурою на основі Fe-C, Fe-B, Fe-Mn-C, Fe-Cr-C, Fe-Ni-C, Fe-Mn-C-B, Fe-Mn-C-B-Si, Ni-Cr-B-C.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Перспективним є використання стійких до зношування евтектичних покриттів Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr [2,3,4]. Утворенню евтектичних областей сприяють такі елементи як Fe, Mn, C, B. Евтектична структура покриттів дозволяє змінювати в широких межах твердість при збереженні високої пластичності матеріалів. Досягається це шляхом легування евтектичних сплавів такими елементами як Ni, Cr, Ti, W, V та іншими. Трибологічні властивості покращуються за рахунок таких фазових складових в структурі сплавів як  $Fe_{0,4}Mn_{3,6}C$ ,  $Fe_3C$ ,  $Fe_2B$ ,  $FeB$ ,  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_2B$ .

Використання в структурі сплаву дисперсних (зміцнювальних) фаз обумовлено їх високою твердістю, опірністю до зношування, корозії та термічною стабільністю. Легування марганцем збільшує пластичність карбіда заліза  $Fe_3C$  шляхом формування марганцовистого карбіда заліза  $Fe_{0,4}Mn_{3,6}C$ . Перспективним є одержання цих матеріалів у вигляді порошків, порошкових дротів і електродів для наплавлення та відновлення виробів методом GMA (gas metal arc welding) та іншими методами.

Матеріали, які використовуються для наплавлення, найчастіше використовують в промисловості порошкові дроти до наплавлення GMA виготовляються з діаметрами від 1,2 до 4,0 мм. У порошкових дротах знаходяться леговані матеріали у вигляді порошку з невеликою кількістю флюсуєчих складових.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Склад евтектичних порошкових дротів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr (% мас.) представлено в таблиці 1. Подано інтервали зміни концентрації які дозволяють формувати

евтектичні сплави. Вміст Fe, Mn, C, B не подано, оскільки склад евтектичного сплаву захищено аторським свідоцтвом без права відкритого опублікування. Детальна характеристика і методи одержання евтектичних сплавів на основі системи Fe-Mn-C-B представлені в [2].

Таблиця 1 – Склад евтектичних порошкових дротів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr

| Елемент | Fe,Mn,C,B | Si      | Ni         | Cr          |
|---------|-----------|---------|------------|-------------|
| Вміст   | Решта     | 1,9-2,7 | 8,36-17,68 | 10,53-16,24 |

Евтектичні порошкові дроти виготовлено в фірмі WOLCO в м. Любліні та Інституті зварювання в Глівіцах (Польща). Діаметр дроту 2,4 мм. Для одержання покриття системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr використано метод наплавлення GMA (MAG захисна атмосфера CO<sub>2</sub>). В якості матеріалу зразків прийнято сталі 45 та Ст3. Твердість отриманих покриттів в залежності від складу становить 49-62 HRC. Зразки для досліджень вирізали електроерозійним методом з наплавленого шару довжиною не менше 500 мм.

Структура покриттів складається переважно з легованого аустеніту  $\gamma$ (Fe, Cr, Ni) (основа), карбіда Fe<sub>0,4</sub>Mn<sub>3,6</sub>C (зміцнююча фаза), а також невеликої кількості дисперсних фаз Fe<sub>2</sub>B Fe<sub>3</sub>C, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>.

У процесі наплавлення формуються дендрити різної величини, які становлять матрицю покриття. У покриттях спостерігається зміна морфології по товщині. Від зони сплавлення перпендикулярно до градієнта відводу тепла, ростуть дендрити аустеніту (ясного кольору). Покриття характеризуються добрим сплавленням з матеріалом основи (~500 МПа). Під покриттям формується дифузійна зона, збагачена вуглецем.

Мікротвердість евтектичного покриття змінюється в інтервалі 452-504 HV<sub>5</sub>. Мікротвердість перехідної зони – 136-163 HV<sub>5</sub>, основи – 126-131 HV<sub>5</sub>. Найбільшу мікротвердість отримано на глибині від поверхні 1,82 мм, яка становить 504 HV<sub>5</sub>. Це обумовлено високою дисперсністю фазових складових. Розміри відбитків в підкладці набагато більші, в порівнянні із відбитками у евтектичному покритті.

Нанотвердість евтектичних покриттів виміряно використовуючи Nano Hardness Tester фірми CSM із вмонтованим алмазним індентором Berkovicha. Дослідження проведено на металографічних шліфах виготовлених з наплавленого шару. Основні параметри досліджень нанотвердості при динамічних навантаженнях: лінійне навантаження, мінімальне навантаження на індентор 18,5 mN, максимальне навантаження 53 mN, швидкість навантаження 800.00 mN/min, перерва між циклами 5 с. Зміни глибини проникнення індентора в залежності від сили навантаження представлено на рис. 1а. Максимальна сила навантаження була стала і становила 52,41 mN (рис. 1б). Виразно видно зростання нанотвердості під час наступних циклів навантаження від 742,34 до 779,02 HV, а також модуля Юнга від 242,19 до 262,41 ГПа. При цьому зменшується максимальна глибина проникнення індентора від 584,41 до 566,82 nm (табл. 2).

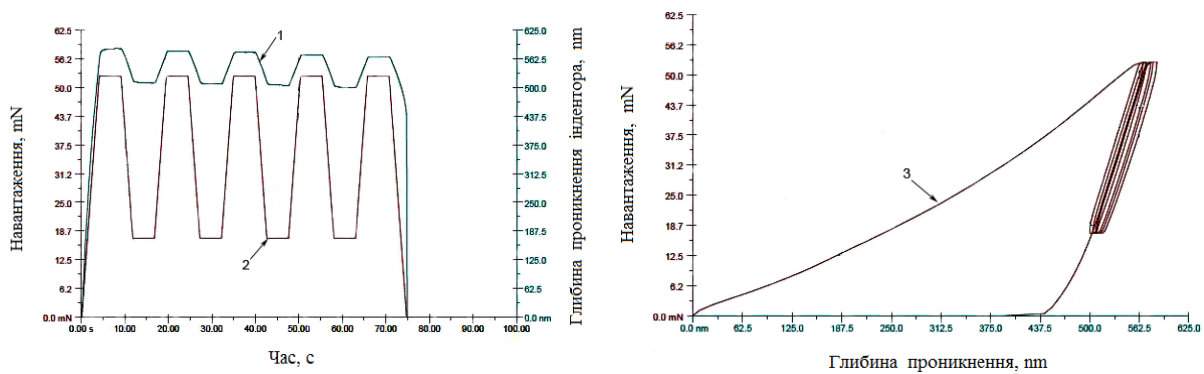


Рисунок 1 – Зміна навантаження і глибини проникнення індентора в залежності від часу (а) та навантаження і глибини проникнення індентора (б):

- 1- глибини проникнення індентора, nm; 2- навантаження на індентор, mN;
- 3-зміна навантаження на індентор в залежності від глибини проникнення індентора

На основі одержаних результатів можна констатувати, що внаслідок пластичного деформування відбувається зміцнення евтектичного матеріалу. Результати вимірювань нанотвердості представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Нанотвердість евтектичного покриття системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr

| Номер циклу | Модуль Юнга, E | Твердість | Максимальна сила F <sub>max</sub> | Максимальна глибина проникнення h <sub>max</sub> |
|-------------|----------------|-----------|-----------------------------------|--|
|             | GPa            | HV        | mN                                | nm   |
| 1           | 242,19         | 742,34    | 52,41                             | 584,41   |
| 2           | 250,02         | 754,15    | 52,41                             | 579,40   |
| 3           | 251,67         | 765,3     | 52,41                             | 576,26   |
| 4           | 256,77         | 779,02    | 52,41                             | 570,78   |
| 5           | 262,41         | 774,82    | 52,41                             | 566,82   |

Евтектичні покриття піддано дослідженням на зносостійкість. Основні параметри тесту були наступні: схема тертя стрижень-диск, швидкість 0,4 м/с, час 6 годин, питоме навантаження 3, 7, 10, 15 МПа. Матеріал контртіла сталь 45 з твердістю 52 HRC. Середні втрати маси зразків при P=7 МПа становлять 154 мг.

Дослідження фазового складу покриття після тертя проведено за допомогою рентгенівського дифрактометра загального призначення ДРОН 1,5. Фазовий склад поверхні тертя при питомому навантаженні 7 МПа показав, що складається вона переважно із легованого α-заліза, оксидів Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, бориду Fe<sub>2</sub>B, а також декількох фаз, які не удалось ідентифікувати (рис. 2).

Евтектичні стопи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr використано для зміцнення і відновлення ножів виготовлених із сталі Вгіаг, які використовуються для подрібнення автомобільних шин, а також для зміцнення і відновлення ножів для подріблення пластикових бутілок. В промислових умовах фірми ДК Новорециклінг (м. Пухачув, Польща) встановлено підвищення довговічності ножів для подрібнення автомобільних шин з 3-4 до 45 днів.

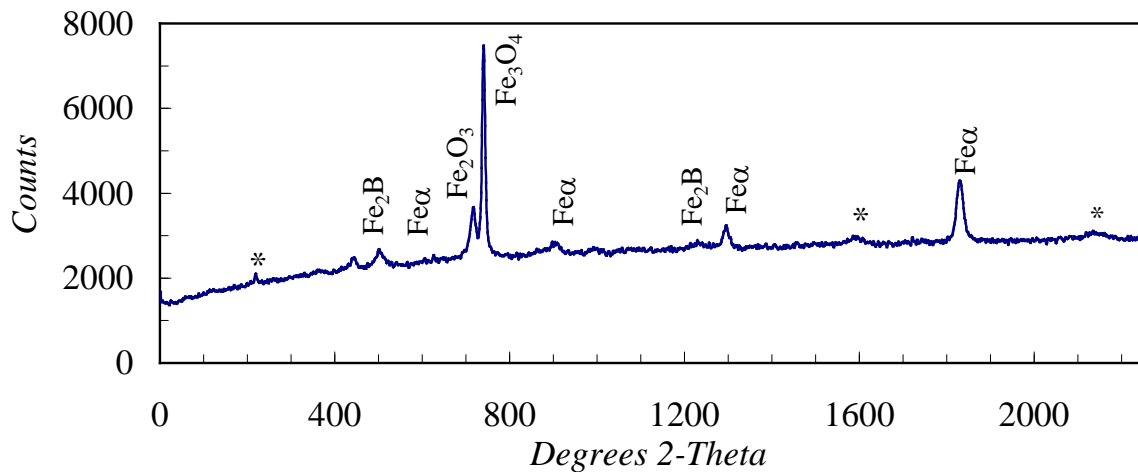


Рисунок 2 – Дифрактограма евтектичного сплаву системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr

Висока зносостійкість сплавів і покриттів досягається утворенням вторинних структур, які представляють собою нестехіометричні оксиди на основі системи  $B_2O_3 - SiO_2$  і вуглець, які суттєво змінюють трибологічні властивості. Дослідження сегрегації атомів з використанням спектроскопії мас вторинних іонів (SIMS) [3] і трибосинтез на поверхні покриття наноматеріалу (самоорганізація поверхні тертя) представлено в [4].

Встановлено, що завдяки трибосинтезу змінюються структура, хімічний і фазовий склад поверхневого шару матеріалу, що і забезпечує стабільну роботоздатність при великих питомих навантаженнях (до 20 МПа) і в широкому діапазоні швидкостей ковзання (0,1–2 м/с).

Відповідно, навантаження тертям призводить до структурних змін в поверхневому шарі, до його збагачення зміцнюючими фазами і твердим мастилом та до зменшення їх розміру до дрібно- і нанокристалічного стану (менше 100 нм). Перераховані зміни призводять до підвищення механічних властивостей робочого шару (зокрема твердості, повзучості), а також триботехнічних характеристик.

#### IV. ВИСНОВКИ

Підсумовуючи можна сказати, що багатокомпонентні евтектичні стопи отримані на основі системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr, дають можливість одержувати на поверхні мало- та середньовуглецевих сталей зносостійкі евтектичні покриття методом наплавлення GMA з використанням порошкових дротів, електродів та порошкових сплавів. Мікроструктурні дослідження, а також дослідження фазового складу евтектичних покриттів показали, що вони є композиційним дисперсійно зміцненим боридами і карбідами заліза матеріалом. Підвищена зносостійкість обумовлена сегрегацією атомів B, Si а також C на поверхню тертя і утворенням (трибосинтезом) вторинних структур які представляють собою нестехіометричні оксиди на основі системи  $B_2O_3 - SiO_2$  і вуглець у формі графіту, які суттєво підвищують трибологічні властивості евтектичних матеріалів [3,4].

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Granat K. Wieloskładnikowe stopy Fe-C-Cr-Si odporne na zużycie przeznaczone na odlewy i warstwy napawane.- Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2005. - 182 s.
- [2] Pashechko M., Gorecki T. Konstituowanie warstw wierzchnich odpornych na zużycie ściernie ze stopów eutektycznych na podstawie układu równowagi fazowej Fe-Mn-C-B: Technologiczne systemy informacyjne w inżynierii produkcji i kształceniu technicznym.- Lublin: Lubelskie Towarzystwo Naukowe, 2001.- S. 379-387.
- [3] Pashechko M, Lenik K.. Segregation of atoms of the eutectic alloy Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr at friction wear: Wear.- 2009.-Vol. 267, Issues 5-8.- P. 1301-1304.
- [4] M. Pashechko, K. Dziedzic, M. Barszcz. Mechanizm zużycia powłok eutektycznych Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr: Problems of Tribology.- 2011.-N. 1.-P. 37-43.

# Аналіз відповідності складу газових сумішей нормативним вимогам до якості газу

Юрій Франчук, Вікторія Коновалюк

*Київський Національний університет будівництва і архітектури  
м. Київ, Україна*

## I. Вступ

З метою посилення наявної енергетичної інфраструктури, підвищення енергетичної безпеки та стабільності функціонування газотранспортна система України потребує введення нових підходів, одним з яких є застосування відновлювальної енергетики.

Актуальним питанням підвищення ефективності роботи системи газопостачання займаються науковці і практики різних країн. Нормативна база Європейського Союзу спрямована на збільшення рівня енергоефективності інженерних систем, основні положення викладені в [1] Директиві Європейського парламенту та Ради 2012/27/EU «Про енергоефективність».

Згідно з Енергетичною стратегією України [2] у балансі споживання енергії в країні частка природного газу становитиме біля 30%, а частка біомаси, біопалива та відходів зросте до 11,5% в 2035 році. При цьому частка відновлювальних ресурсів зросте до 25% в 2035 році.

Питання сумісного використання традиційного паливного газу з сумішами інших газів (біометану, водню, тощо) є дуже актуальним і потребує докладного розгляду.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питаннями безпечного переходу до використання відновлюваних джерел енергії, в тому числі в газопостачанні, займається широке коло дослідників з різних країн. У роботі [3] розглянуто перспективи переходу від викопного палива до використання водню. Наведено екологічні переваги спалювання водню. Біогаз може [4, 5] замінити природний газ, якщо його очистити до рівня зеленого газу. В роботі [6] розглянуто потенційні можливості перероблення біомаси (органічних, сільськогосподарських та побутових відходів) метановим бродінням з отриманням біогазу. Проаналізовано проблеми, що виникають при транспортуванні суміші газу та водню в газотранспортних мережах [7]. Досліджено характеристики вибухозахисту сумішей природного газу і водню [8]. У роботі [9] розглянуто перспективи застосування сумішей природного газу з воднем як альтернативного палива, проаналізовано нормативні вимоги до вмісту водню в газових мережах у різних країнах (табл. 1).

Таблиця 1 - Максимально допустима концентрація водню в газових мережах

|                      |            |           |         |                |         |                   |
|----------------------|------------|-----------|---------|----------------|---------|-------------------|
| Країна               | Нідерланди | Німеччина | Франція | Іспанія        | Австрія | Швейцарія         |
| H <sub>2</sub> , %об | 12         | 10        | 6       | 5              | 4       | 4                 |
| Країна               | Італія     | Швеція    | Бельгія | Великобританія | Японія  | Україна           |
| H <sub>2</sub> , %об | 3          | 0,5       | 0,1     | 0,1            | 0       | не регламентовано |

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У Законі України «Про ринок природного газу» № 329-VIII від 09.04.2015 розділ IV, ст. 19, п. 1: Виробники біогазу або інших видів газу з альтернативних джерел мають право на отримання доступу до газотранспортних і газорозподільних систем... за умови дотримання

технічних норм та стандартів безпеки відповідно до законодавства та за умови, що біогаз або інші види газу з альтернативних джерел за своїми фізико-технічними характеристиками відповідають стандартам на природний газ. Основні вимоги до складу газу наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Вимоги до складу газу, що подається до газотранспортної мережі України [10]

| Показники  | Величина    |
|--|-------------|
| Вміст метану (C <sub>1</sub> ), мол. %                                     | ≥ 90        |
| Вміст етану (C <sub>2</sub> ), мол. %                                      | ≤ 7         |
| Вміст пропану (C <sub>3</sub> ), мол. %                                    | ≤ 3         |
| Вміст бутану (C <sub>4</sub> ), мол. %                                     | ≤ 2         |
| Вміст пентану та інших більш важких вуглеводнів (C <sub>5+</sub> ), мол. % | ≤ 1         |
| Вміст азоту (N <sub>2</sub> ), мол. %                                      | ≤ 5         |
| Вміст вуглецю (CO <sub>2</sub> ), мол. %                                   | ≤ 2         |
| Вміст кисню (O <sub>2</sub> ), мол. %                                      | ≤ 0,02      |
| Вища теплота згоряння (25°C/20°C), МДж/м <sup>3</sup>                      | 36,2-38,30  |
| Нижча теплота згоряння (25°C/20°C), МДж/м <sup>3</sup>                     | 32,66-34,54 |
| Вміст механічних домішок:  | відсутні    |

Аналіз значень з табл. 1 показує, що вміст метану обмежений по його мінімальній концентрації, інші компоненти обмежені по їх максимальній концентрації, а для теплоти згоряння вказаний конкретний діапазон чисельних значень. Тобто, при додаванні газових сумішей до складу традиційного газу повинні бути враховані вищенаведені обмеження.

Вміст біометану та основні фізико-технічні характеристики біогазів наведені в табл. 3.

Таблиця 3 - Вміст біометану та основні фізико-технічні характеристики біогазу з полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) і відходів тваринницьких ферм (гною) [6]

| Параметр               | Одиниця вимірювання | Біогаз з полігонів ТПВ | Біогаз з гною |
|------------------------|---------------------|------------------------|---------------|
| Нижча теплота згоряння | МДж/м <sup>3</sup>  | 16                     | 23            |
| Густина                | кг/м <sup>3</sup>   | 1,3                    | 1,2           |
| Число Воббе            | МДж/м <sup>3</sup>  | 18                     | 27            |
| Біометан               | %                   | 35-65                  | 53-70         |

Інші нормативні значення показників якості газу, вказані у Проекті Технічного регламенту природного газу [11], наведені в табл. 4.

Таблиця 4 - Вимоги до показників якості природного газу [11]

| Показник якості                            | Одиниця вимірювання | Нормативне значення |                   |
|--|---------------------|---------------------|-------------------|
|  |                     | Мінімальне          | Максимальне       |
| Число Воббе вище за стандартних умов 25/20 | МДж/м <sup>3</sup>  | 44,9                | 53,7              |
| Теплота згоряння вище за стандартних умов  | МДж/м <sup>3</sup>  | 35,4                | не застосовується |
| Відносна густина <sup>1</sup>              | -                   | 0,555               | 0,700 (0,750)     |
| Масова концентрація механічних домішок     | мг/м <sup>3</sup>   | не застосовується   | 1                 |

Примітка: максимальне нормативне значення діє з 01.01.2025 р., до цього терміну діє нормативне значення, наведене в дужках.

Теплота спалювання газу, МДж/м<sup>3</sup>, що є багатокомпонентною сумішшю, визначають за формулою (1) [12]:

$$Q_n^p = Q_{n1}^p \cdot r_1 + Q_{n2}^p \cdot r_2 + \dots + Q_{ni}^p \cdot r_i, \quad (1)$$

де  $Q_{ni}^p$  - нижча теплота спалювання  $i$ -го компонента суміші, МДж/м<sup>3</sup>;

$r_i$  – об’ємна концентрація  $i$ -го компонента.

Обмежувальні умови до складу багатокомпонентної суміші газів з урахуванням чисельних значень нормативних вимог до основних показників газу та залежності (1) можна описати виразом (2):

$$\begin{cases} 32.66 \leq Q_{n1}^p \cdot r_1 + Q_{n2}^p \cdot r_2 + \dots + Q_{nn}^p \cdot r_n \leq 34.54 \\ 44.9 \leq W_1 \cdot r_1 + W_2 \cdot r_2 + W_n \cdot r_n \leq 53.74 \\ 0,555 \leq \rho_1 \cdot r_1 + \rho_2 \cdot r_2 + \dots + \rho_n \cdot r_n \leq 0,750 \\ r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1 \end{cases}, \quad (2)$$

де  $Q_{ni}^p$  – нижча теплота спалювання  $i$ -го компонента суміші, МДж/м<sup>3</sup>;

$W_i$  – число Воббе  $i$ -го компонента суміші, МДж/м<sup>3</sup>;

$\rho_i$  – густина  $i$ -го компонента суміші, кг/м<sup>3</sup>;

$r_i$  – об’ємна концентрація  $i$ -го компонента;

$n$  – кількість компонентів.

Вираз (2) пропонується використовувати при визначенні допустимих концентрацій компонентів, які додаються до природного газу, що транспортується в системі газопостачання, зокрема з відновлювальних джерел.

Щоб визначити склад газової суміші (метан, водень, біогаз) відповідно до вимог по теплоті згоряння, густині і числу Воббе складено наступні рівняння:

Розрахунок допустимих концентрацій біогазу і водню при їх додаванні до метану з використанням залежності (2) визначається залежністю (3).

$$\begin{cases} 32.66 \leq 35,76 \cdot r_1 + 10,83 \cdot r_2 + 23 \cdot r_3 \leq 34.54 \\ 44.9 \leq 48,23 \cdot r_1 + 41,03 \cdot r_2 + 27 \cdot r_3 \leq 53.74 \\ 0,555 \leq 0,7168 \cdot r_1 + 0,0899 \cdot r_2 + 1,2 \cdot r_3 \leq 0,750 \\ r_1 + r_2 + r_3 = 1 \end{cases} \quad (3)$$

де  $r_1$  – об’ємна концентрація метану, частка;

$r_2$  – об’ємна концентрація водню, частка;

$r_3$  – об’ємна концентрація біогазу, частка.

Перша залежність дозволяє перевірити значення теплоти згоряння газової суміші, друге – число Воббе, третє – густину. При цьому сумарний вміст метану в газовій суміші повинен бути не менше 90%.

Якщо в рівняння (3) підставити значення вмісту метану 83%, водню 7%, біогазу 10 %, отримаємо:

$$\begin{cases} 32.66 \leq 32.74 \leq 34.54 \\ 44.9 \leq 45.6 \leq 53.74 \\ 0.555 \leq 0.72 \leq 0.750 \\ 0.83 + 0.07 + 0.10 = 1 \end{cases} \quad (4)$$

Тобто, газова суміш, що має компонентний склад 83 % метану, 10 % біогазу та 7 % водню відповідає вимогам нормативних документів щодо меж теплоти згоряння, числа Воббе, густини та вмісту метану.

#### IV. ВИСНОВКИ

Запропонована в роботі методика оцінювання складу газу відповідності вимогам нормативних документів дозволяє визначити допустиму кількість біогазу, водню, тощо для ефективного використання відновлювальних джерел паливних газів. Наприклад, суміш 83 % метану, 10 % біогазу та 7 % водню відповідає вимогам нормативних документів щодо меж теплоти згоряння, числа Воббе, густини та вмісту метану.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Директива Європейського Парламенту і Ради 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність, внесення змін ... (Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending ...) (In Ukrainian). [online] [19.03.2024]. Available at: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_017-12#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_017-12#Text)
- [2] Енергетична стратегія України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Схвал. розпорядженням КМУ від 18.08.2017 р. №605-р. URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=245234085](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085).
- [3] Momirlan M, Veziroglu T. The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a cleaner planet. *Int J Hydrogen Energy*, vol. 30, 2005, pp. 795-802. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2004.10.011>
- [4] Hengeveld E., W.J.T. van Gemert, Bekkering J., Broekhuis A. When does decentralized production of biogas and centralized upgrading and injection into the natural gas grid make sense?, *Biomass and bioenergy*, vol. 67, 2014, pp. 363 – 371. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.05.017>
- [5] Dolci F., Thomas D., Hilliard S. et al. Incentives and legal barriers for power-to-hydrogen pathways: an international snapshot. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, 2019, pp.11394-11401. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.045>
- [6] Носенко Ю. Біогаз – реальна альтернатива природному газу // *Агробізнес Сьогодні*. – 2015. – № 14. – С. 74-77. <https://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8373-biohaz-realna-alternatyva-prirodnomu-hazu.html>
- [7] Wang H., Tong Z., Zhou G. et al. Research and demonstration on hydrogen compatibility of pipelines: a review of current status and challenges, *International journal of hydrogen energy*, vol. 47, 2022, pp. 28585-28604. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.158>
- [8] Askar E., Schröder V., Schütz S., Seemann A., Power-to-Gas: Safety Characteristics of Hydrogen/Natural- Gas Mixtures, *Chemical Engineering Transactions*, vol. 48, 2016, pp. 397-402.
- [9] Mayrhofer M., Koller M., Seemann P. et al. Assessment of natural gas/hydrogen blends as an alternative fuel for industrial heat treatment furnaces. *International journal of hydrogen energy*, vol. 46 (41), 2021, pp. 21672-21686. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.228>
- [10] Кодекс газотранспортної системи: затв. Пост. Нац. коміс., що здійснює держ. регулювання у сферах енергетики та комун. послуг від 30.09.2015 р. № 2493: станом на 29 берез. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15#Text> (дата звернення: 29.04.2024).
- [11] Проект Технічного регламенту природного газу. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15#Text> (дата звернення: 29.04.2024).
- [12] Єнін П.М., Шишко Г.Г., Предун К.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом: навч. посібник. - К.: Логос, 2002. - 198 с.

# Аналіз структурних складових швидкорізальної сталі при хіміко-термічній обробці

Катерина Чорноіваненко

*Український державний університет науки і технологій  
м. Дніпро, Україна*

## I. ВСТУП

У галузі виробництва інструментальних матеріалів є завдання вдосконалювати технологію виробництва сталей та інструментів з них, розробляти нові склади сталей, прискорено впроваджувати їх у виробництво. Частиною цих розробок є дослідження та виробництво швидкорізальних сталей зі зниженим вмістом вуглецю. Зниження вмісту вуглецю у швидкорізальних сталях до 0,1...0,3 % збільшує пластичність у гарячому та холодному стані. Особливий інтерес представляє можливість прокатувати швидкорізальні сталі в холодному стані. Це призвело до розробки технології виробництва ріжучого інструменту, у тому числі машинних полотен ножівок по металу з низьковуглецевої холоднокатаної стрічки, що дозволило знизити витрату дорогих легуючих елементів.

Для досягнення на поверхні інструменту необхідних експлуатаційних властивостей додатково застосовують хіміко-термічну обробку. Висока пластичність низьковуглецевих сталей у холодному стані дає можливість управління структурою зміцнюючої фази термічною обробкою при її підготовці до подальшого навуглецювання. При освоєнні теплового вакуумного травлення зразків зі сталі 02P6M5 виявлено нову структурну складову, яка може представляти науковий інтерес.

Метою цієї роботи є виявлення природи нової структурної складової, що утворюється при тепловому вакуумному травленні.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Необхідні експлуатаційні характеристики металообробного інструменту з швидкорізальних марок сталей забезпечуються комплексним легуванням сильними карбідоутворюючими елементами (W, Mo, V, Cr). Вони ж дають високу стійкість структур при тривалому термічному впливі на інструмент. Знайти резерв стабільності структур швидкорізальних сталей залежно від хімічного складу та тривалості термічного впливу представляє науковий та практичний інтерес.

Одним із нових та перспективних технологічних процесів є виробництво швидкорізальних сталей шляхом хіміко-термічної обробки [1, 2]. Сталі виплавляються з низьким вмістом вуглецю (0,1...0,3 %C). Після виробництва прокату виготовляють інструмент та піддають його навуглецюванню. Технологія відповідає завданню економної витрати дорогих легуючих елементів та підвищення пластичності матеріалу.

Низьковуглецева сталь типу P6M5 в гарячому і холодному стані має більш високі характеристики пластичності в порівнянні з серійною швидкорізальною сталлю. Переваги виготовлення машинних ножівочних полотен із холоднокатаної стрічки виявляються у сфері металургійного виробництва та у сфері використання цих виробів (машинобудування, металообробка).

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

При проведенні тривалого відпалу та теплового вакуумного травлення сталі типу Р6М5 була виявлена незвичайна структурна складова, що періодично повторюється в матриці і має характерну форму, що нагадує форму «листочків» і «пір'я» (рис. 1). З рисунка видно, що ці структурні складові можуть розташовуватися як у матриці, так і поблизу карбідів. Ефект утворення таких структур проявляється регулярно після теплового вакуумного травлення при температурі 1100 ° С протягом 3-4 годин.



Рисунок 1 – Мікроструктура сталі типу Р6М5 після теплового вакуумного травлення, x1000

Нами були висунуті дві гіпотези природи формування структури: перша полягає в дифузійному перенесенні та осадженні домішок сталі на поверхні шліфу в процесі вакуумного травлення; друга пов'язана з об'ємною дифузією елементів та утворенням мікрооб'ємів, відмінних за хімічним складом від матриці. І в тому, і в іншому випадку ефект, мабуть, пояснюється хімічною неоднорідністю.

Стабільність та повторюваність структурних складових обґрунтовували за допомогою сошліфовок. Встановлено, що досліджувані мікрооб'єкти з характерною структурною складовою носять не випадковий, а закономірний характер за умов обробки. Зберігається орієнтація та геометрична конфігурація «листочків» і «пір'я».

Виключаючи легуючі елементи, що входять до складу сталі типу Р6М5, проводили вивчення подвійних сплавів. Подвійні сплави мали різний вміст легуючого елемента: Fe-Cr (17 %Cr, 32 %Cr), Fe-W (5,68 %W, 11,6 %W) та Fe-Mo (3,05 %Mo, 7,11 %Mo) . Виявлено, що кожен із легуючих елементів за певного його змісту не сприяє формуванню подібних структур.

З літературних джерел відомо, що витримка зразків при нагріванні у вакуумі призводить до появи на шліфі досить складного рельєфу, який можна поділити на дві основні групи:

1) елементи рельєфу обумовлені кінетикою випаровування і не пов'язані з тонкою структурою зерен (цими елементами є ступені і тонкі канавки, що формуються за певними кристалографічними напрямками);

2) фігури термічного травлення, що відображають внутрішню структуру зерен [3].

З цією метою проводився кількісний аналіз типових елементів структури – для аналізу виділили три основні елементи, умовно позначені як матриця; «пелюстки» та «пір'я».

Мікрорентгеноспектральний аналіз показав, що в більш витравлених мікроділянках, позначених як «пелюстки» і особливо в «пір'ї» знижується вміст Fe (в основному) і декілька знижується вміст Cr, натомість вміст Mo, W і V зростає в порівнянні з ділянками, що не витравилися, ідентифікованими як матриця.

Склад зерен, описаних як «гладке зерно», знаходиться в інтервалі складів матриці та елементів стуркури. Звідси можна припустити, що з «гладкого зерна» отримано усереднений

результат, т.к. малюнок структури у ньому дуже дрібний.

Отже, можна стверджувати, що виявлені концентраційні зміни у зразку, підданому тепловому вакуумному травленню є наслідком травлення та не властиві зразку у вихідному стані.

Випаровування відбувається не на всій поверхні, а носить вибірковий характер, внаслідок прояву хімічної неоднорідності матриці сталі типу Р6М5.

Досліджуваний об'єкт відрізняється від відомих тим, що ми маємо справу не з чистим металом, а з комплексом сильних карбідоутворювальних елементів, розташованих у феритній матриці. З цієї причини не можна не враховувати можливі міцні зв'язки вольфраму, молібдену, ванадію, хрому та заліза з вуглецем, особливо в тих випадках, коли вони не тільки розчинені у фериті, а й утворюють карбіди типу  $M_6C$ .

Тому, не всі домішки випаровуються як це мало місце в літературі при роздільному дослідженні металів, а видаляються лише залізо і хром. Внаслідок цього мікрообсяги матриці збагачуються ванадієм, молібденом, вольфрамом, що слідує з результатів мікrorентгеноспектрального аналізу.

#### IV. ВИСНОВКИ

Розроблено методику комплексного металографічного та хімічного дослідження для виявлення природи досліджуваних структур, що включає металографічний аналіз, визначення мікро- та макромеханічних характеристик, метод сошліфовок, метод виключення легуючих елементів та локальний мікrorентгеноспектральний аналіз.

У процесі дослідження виявлено регулярну повторюваність (після вакуумного травлення) фігур травлення, відповідність їх геометричних параметрів, характеру розподілу та розмірів.

Локальний мікrorентгеноспектральний аналіз показав, що відмінність вмісту легуючих елементів спостерігається лише після вакуумного травлення, тобто. на гладкому шліфі до вакуумного травлення відмінності у вмісті легуючих елементів не виявлено. Досліджувані нами структури з'являються лише після вакуумного травлення. Встановлено, що при вакуумному травленні з мікрооб'ємів феритної матриці випаровується переважно хром і залізо, в результаті чого ці мікрооб'єми збагачуються W, Mo і V.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Мовчан В.И., Педан Л.Г., Иваница В.И. Формирование направленных аустенито-карбидных структур при науглероживании сложнолегированных сталей // *МиТОМ*, 1990. №8. с. 12-14.
- [2] Movchan O. V., Chornoivanenko K.O. Phase and Structural Transformations of High-Carbon Alloy of the Fe–V–C System During Chemical-Thermal Processing and Deformation // *Metallophysics and Advanced Technologies*, 2019. vol. 41. No. 2. pp. 251–261.
- [3] Fischer A., Routzahn A., George S. M., Lill T. Thermal atomic layer etching: A review. *J. Vac. Sci. Technol. A*, 2021. 39 (3). 030801. <https://doi.org/10.1116/6.0000894>

# Дослідження структуроутворення при спеченні суміші порошків титан-гідроксиапатит

Андрій Скребцов, Юлія Кононенко, Антон Матюхін,  
Андрій Кононенко

*НУ «Запорізька політехніка»  
м. Запоріжжя, Україна*

## I. ВСТУП

Виробництво заготовок для імплантатів із властивостями, наближеними до властивостей людської кістки, є актуальною задачею сьогодення. Такі матеріали повинні мати модуль пружності на рівні кістки, для заміни якої вони розробляються. При регламентованому рівні модуля пружності, механічні характеристики таких матеріалів повинні бути достатніми, щоб забезпечувати надійність роботи конструкції. До того ж ще додаються вимоги щодо біосумісності матеріалу. Вирішення зазначених задач можливе лише при комплексному підході при розробці матеріалу заготовок для імплантатів.

Збільшення біосумісності можливе при використанні гідроксиапатиту. Він є органічним матеріалом і при цьому зазвичай наноситься на готовий виріб спеціальними методиками. Матеріал заготовки для імплантату повинен бути поруватим, аби біологічна тканина могла вросли в нього. З метою забезпечення біосумісності в цих порах міститься шар гідроксиапатиту.

Раніше було встановлено, що для забезпечення модуля пружності на рівні кістки у заготовки повинна бути сформована конкретна поруватість. Висока поруватість заготовки може призвести до наявності наскрізних розвинутих пор, що є бажаним явищем. Введення порошку гідроксиапатиту в порошок суміш може привести до зміни поруватості. Тому, в роботі було на меті дослідити структуроутворення при спеченні суміші порошків титан-гідроксиапатит.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В роботі [1] показано, що збільшення інтеграції тканини з імплантатом досягається при наявності на поверхні шару гідроксиапатиту. Але, при наявності в матеріалі поруватості, необхідність створення шару гідроксиапатиту в ній є проблемою. Саме на створення такого матеріалу направлені сучасні роботи.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

З метою рівномірного розподілу частинок порошків в суміші проводили змішування порошків титану (марки ПТ) та гідроксиапатиту рівних фракцій. Змішування здійснювали у лабораторній «п'яній бочці». Виготовляли суміші із різним вмістом порошку гідроксиапатиту (5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %). З метою отримання регламентованої поруватості проводили формоутворення заготовки із зусиллям пресування 350 МПа. Спечення здійснювали у вакуумній печі впродовж 4 годин при ізотермічній витримці на температурі 1200 °С. Досліджували зображення структур з метою встановлення закономірностей формування поруватості при спеченні суміші порошків титан-гідроксиапатит.

За допомогою лінійного методу Розівалія для визначення об'ємної кількості пор проводили оцінку структур отриманих зразків, результати якої наведено на рис.1.

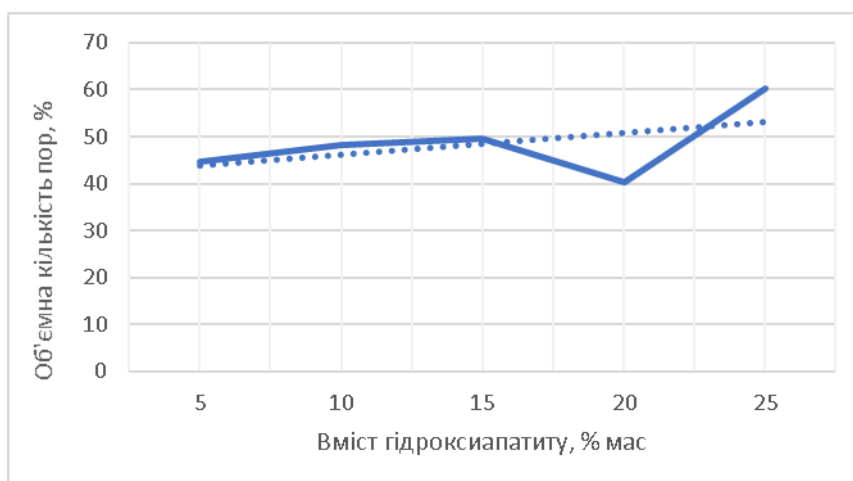


Рисунок 1 – Зміна об'ємної кількості пор в залежності від вмісту гідроксиапатиту

Зазвичай похибка визначення об'ємної кількості включень за обраним методом сягає до 5 %. Тому, зменшення кількості пор при спеченні зразка із вмістом гідроксиапатиту 20 % можна пояснити саме наявністю похибки експерименту. Але, з аналізу даних рис. 1, можна побачити, що збільшення кількості гідроксиапатиту у порошковій суміші призводить до збільшення поруватості.

Пояснити це явище можна таким чином: при спеченні сформованої заготовки завдяки процесам дифузії відбувається покращення контакту між частинками порошку, а також процес їх рекристалізації. Ріст «колонії» зерен  $\alpha$ -фази титанового матеріалу при її зустрічі з частинками гідроксиапатиту уповільнюється. Це дозволяє припустити, що більша об'ємна кількість частинок гідроксиапатиту приведе до наявності більшої кількості пор в матеріалі після спечення.

Для подальших досліджень структуроутворення при спеченні подібних матеріалів необхідно провести ряд додаткових досліджень.

#### IV. ВИСНОВКИ

1. Отримано спечені зразки порошоків титану марки ПТ та порошку гідроксиапатиту однакових фракцій.

2. Проведено оцінку об'ємної частки пор. Встановлено, що зі збільшенням вмісту порошку гідроксиапатиту, частка пор збільшується. Так, для 5 % вмісту вона складала 44,7 % в той час, як для 25 % порошку гідроксиапатиту вона склала майже 60 %, тобто збільшилась на 15 %.

3. Для подальших досліджень структуроутворення при спеченні подібних матеріалів необхідно провести ряд додаткових досліджень.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Шаркаль, Й.П. Модифікації поверхні титанових імплантатів високоінтенсивними концентрованими джерелами нагріву / Шаркаль Й.П., Січка М.Ю., Потапчук А.М., Кикинеші О.О. та інш. // Імплантологія Пародонтологія Остеологія, №4 (8), 2007 р. – С. 79 – 84.
- [2] Потапчук, А.М. Вплив структури поверхні імплантатів на процеси остеоінтеграції (огляд літератури) / Потапчук А.М., Криванич В.М. // Інновації в стоматології, ;1, 2015 р. – С. 82 – 88.

**СЕКЦІЯ 7**



# **ВИРОБНИЦТВО ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

# Study of the influence of diffusion saturation of austenite during high-speed electric heating of metal

Oleksandr Saychuk, Artem Naumenko

*V.I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College  
Kharkiv, Ukraine*

Aleksander Ostenda

*Academy of Silesia  
Katowice, Poland*

Andrii Zakharov

*State Biotechnological University  
Kharkiv, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

The effect of accelerated steel heating on the structure of austenite, the process of its formation, and the properties of martensite formed during subsequent quenching has been studied in some detail. Much less attention has been paid to the study of the diffusion permeability of austenite obtained during rapid heating and its ability to enter into chemical interaction with an active external environment, which occurs in many diffusion saturation processes.

Meanwhile, the peculiarities of phase transformations during accelerated steel heating, which result in the specific structure of the austenite formed during this process (fine grain, large intragranular fragmentation, high density of dislocations, heterogeneity, etc.), can affect not only the kinetics of diffusion layer formation, but also, in some cases, its nature, structure and properties.

## II. ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

In [1, 2], it was found that the intensity of diffusion along the grain boundaries and in the volume of grains differs significantly (by about 4-6 orders of magnitude) even at very high ( $\approx 0.7 T_{pl}$ ) temperatures. Consequently, in fine-grained austenite, which has a greater length of facilitated diffusion paths, saturation should occur much faster than in coarse-grained austenite. Thus, if the peculiarities of phase transformations during rapid heating inevitably led to the production of fine-grained austenite, its diffusion saturation will be faster than that of coarse-grained austenite produced during slow furnace heating. Rapid heating can shift the temperature interval of the main phase transformations so much that almost the entire austenitisation process will be the nucleation of centres. According to the studies reported in [3], such austenite is permeated by a widely developed network of facilitated diffusion pathways and has a high diffusion susceptibility.

An increased number of structural defects extending to the surface (the same grain boundaries) should activate the surface's tendency to enter into a chemical reaction with the external environment, since these structural defects are the preferred sites for chemical reactions and the formation of nucleation centres for new phases, as described in detail in [4-5].

### III. PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

Austenite obtained under conditions of rapid electric heating should have increased diffusion susceptibility and chemical activity. The diffusion properties of austenite formed during rapid heating were studied on the example of the diffusion of Cr, Ni, Al and C, and the chemical activity on the example of the reaction of Fe-C alloys with silicon tetrachloride (SiCl<sub>4</sub>).

When studying the diffusion of Cr and Ni in Fe-armco, 45 and 65G steel, the resorption of pre-deposited galvanic layers was observed during heating at a rate of 10 deg/min, 0.1, 10, 50, 100 and 4000 deg/sec in the temperature range of 900-1300°C with isothermal holding times of up to 7 min. Measurements of the thickness of the diffusion layers formed at the chromium-iron and chromium-steel interfaces and of the diffusion layers showed that the different structural state of austenite formed at different heating rates significantly affects the course of diffusion processes. For example, an increase in the heating rate from 10 deg/min to 4000 deg/sec increases the depth of penetration of chromium atoms from 4 to 7 times. Quantitative measurements of the chromium content in the diffusion layers, carried out by local X-ray spectral analysis in micro volumes, as well as the calculation of effective diffusion coefficients, confirmed a significant increase in the diffusion susceptibility of austenite that occurs during rapid heating. Table 1 shows the values of the diffusion coefficients of chromium in iron at different heating rates.

Table 1 - Values of chromium diffusion coefficients in iron at different heating rates

| Heating speed | T, °C | D <sub>γ</sub> , cm <sup>2</sup> /sec | D <sub>α</sub> , cm <sup>2</sup> /sec |
|---------------|-------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 20 hail/min   | 1010  | 1,61 · 10 <sup>-12</sup>              | 4,03 · 10 <sup>-10</sup>              |
|               | 1120  | 2,62 · 10 <sup>-11</sup>              | 3,22 · 10 <sup>-9</sup>               |
|               | 1165  | 8,4 · 10 <sup>-11</sup>               | 9,20 · 10 <sup>-9</sup>               |
|               | 1230  | 6,22 · 10 <sup>-12</sup>              | 5,17 · 10 <sup>-8</sup>               |
| 100 hail/min  | 1055  | 6 · 10 <sup>-11</sup>                 | 9,73 · 10 <sup>-9</sup>               |
|               | 1075  | 7,4 · 10 <sup>-11</sup>               | 2,02 · 10 <sup>-8</sup>               |
|               | 1125  | 3,4 · 10 <sup>-10</sup>               | 4,12 · 10 <sup>-8</sup>               |
|               | 1295  | 4,14 · 10 <sup>-9</sup>               | 3,21 · 10 <sup>-7</sup>               |
| 4000 hail/min | 980   | 4,12 · 10 <sup>-11</sup>              | 8,12 · 10 <sup>-9</sup>               |
|               | 1030  | 7,17 · 10 <sup>-11</sup>              | 2, 3 · 10 <sup>-8</sup>               |
|               | 1175  | 7,21 · 10 <sup>-11</sup>              | 8,2 · 10 <sup>-8</sup>                |
|               | 1265  | 3,22 · 10 <sup>-11</sup>              | 3,02 · 10 <sup>-7</sup>               |

An increase in the heating rate from 10 deg/min to 4000 deg/sec increases the effective diffusion coefficients of chromium in the γ-phase by about 5-7 times. With a similar change in the heating rate, the effective diffusion coefficient of chromium in the α-phase increases by one order of magnitude.

From the relationship  $\lg D = f\left(\frac{1}{T}\right)$  the diffusion parameters (E and D<sub>0</sub>) of chromium in iron for the α and γ phases at different heating rates were estimated.

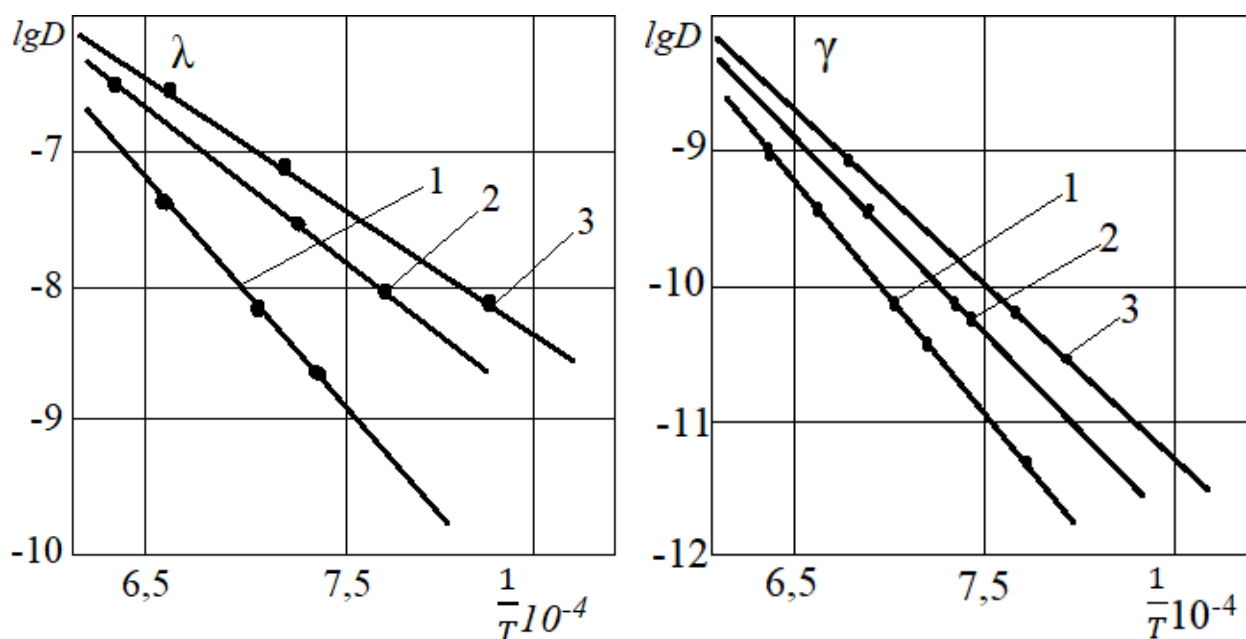


Figure 1. Temperature dependence of chromium diffusion coefficients in Fe-armco for  $\alpha$ - and  $\gamma$ -phases: 1 -  $V_n = 20$  deg/min; 2 - 100 deg/s; 3 - 4000 deg/s

The values of chromium diffusion parameters in Fe-armco at different heating rates are given in Table 2.

Table 2 - Values of chromium diffusion parameters in Fe-armco at different heating rates

| Heating speed | $\gamma - \text{Fe}$                        | $\alpha - \text{Fe}$          |   |                               |
|---------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
|               | $E_a, \frac{\text{ccal}}{\text{r. - atom}}$ | $D_0, \text{cm}^2/\text{sec}$ | $E_a, \frac{\text{ccal}}{\text{r. - atom}}$ | $D_0, \text{cm}^2/\text{sec}$ |
| 20 hail/min   | 87  | $3 \cdot 10^4$                | 92  | $7 \cdot 10^4$                |
| 100 hail/min  | 72  | $2,2 \cdot 10^1$              | 61  | $4,2 \cdot 10^2$              |
| 4000 hail/min | 64  | $7,5 \cdot 10^{-1}$           | 54  | $6 \cdot 10^{-1}$             |

An increase in the heating rate causes a decrease in the activation energy of the process, which is associated with a significant contribution of boundary diffusion. The contribution of boundary diffusion decreases with increasing temperature (see Fig. 1). However, the higher the heating rate, the higher the diffusion susceptibility of both the  $\gamma$  and  $\alpha$  phases to higher temperatures. The analysis of concentration curves by the Fisher method confirms the development of boundary diffusion processes in austenite formed during high-speed heating [3].

Similar results were obtained when studying the diffusion of Ni into Fe-armco during heating at different speeds. A significant acceleration of diffusion saturation processes under rapid electric heating is also observed when saturation is carried out from active pastes. By using a paste-like powder (modifier) of the corresponding metal or alloy as an active component, it is possible to saturate steel with various elements in a short time to obtain layers of sufficiently large depth. The results of determining the layer depth of samples alloyed from the active paste at different temperatures and holding times show that the use of electric heating intensifies the process of saturation of iron with aluminium. When electrically heated at a rate of 10 and 50 deg/s to 1175-1200°C and held for 1-2 minutes, layers with a depth of more than 145  $\mu\text{m}$  are formed. Furnace heating (alutisation in pastes) in the same mode provides a saturation depth of about 75  $\mu\text{m}$ . When the heating rate is reduced to 0.1 deg/sec, a layer depth of about 145  $\mu\text{m}$  is not achieved even after holding for 20 minutes.

The change in the layer depth depending on the holding time during alutisation (1230°C) with electric heating D in the interval from 1 to 10 min and during furnace heating (15-20 deg/s) in the

interval from 1 to 40 min is parabolic. During furnace heating at a rate of 0.1 (1100°C) in the range of 20 min - 3 h, the layer growth is directly proportional to the holding time.

When electrically heated at speeds of 20 and 100 deg/sec, holding for 3-7 min ensures the formation of layers with a depth of 140-185 μm. When heating at a speed of 20 deg/sec, a holding time of more than 40 min is required, and in muffles, similar drying depths are achieved only after more than an hour of holding. Thus, the use of electric heating during alitisation can intensify the saturation process by more than 15 times.

Analysis of the curves of aluminium concentration distribution over the depth of the diffusion layer using the Fisher method revealed the predominant development of boundary diffusion processes in the case of saturation of austenite formed during rapid heating.

A noticeable effect of accelerated heating on the saturation process was also observed during the diffusion of carbon and nitrogen into various steels from active pastes. Apparently, this effect of the heating rate is explained by a decrease in the depletion rate of the paste with accelerated heating, which creates larger concentration gradients and, accordingly, increases the depth of the layer. Experiments on the saturation of iron and steel with Cr, Si, Ti, Mo, Mn, W and other elements from active pastes using rapid electric heating also showed the possibility of a sharp reduction in the duration of these processes from several hours to 15-20 minutes. The influence of austenite structure on its reactivity was studied by the reaction of Fe-armco and steel 45 with silicon tetrachloride (SiCl<sub>4</sub>). Silicification was carried out at a temperature of 1150°C with heating rates of 0.2, 20, 200, and 4000 deg/s and holding times of up to 5 min. Siliconisation under these conditions was accompanied by a loss of total sample weight as a result of the  $3\text{Fe} + \text{SiCl}_4 \rightarrow 2\text{FeCl}_2 + \text{FeSi}$  reaction, which characterised the intensity of the reaction.

The results of measurements of the weight loss of samples in the case of silicification using different heating rates are shown in Fig. 2. The initial sections of the kinetic curves of weight loss show that the onset of the silication process is more intense with an increase in the heating rate. The weight loss in the case of heating at a rate of 4000 deg/s after 1-2 min is twice as high as the weight loss in the case of a heating rate of 20 deg/s.

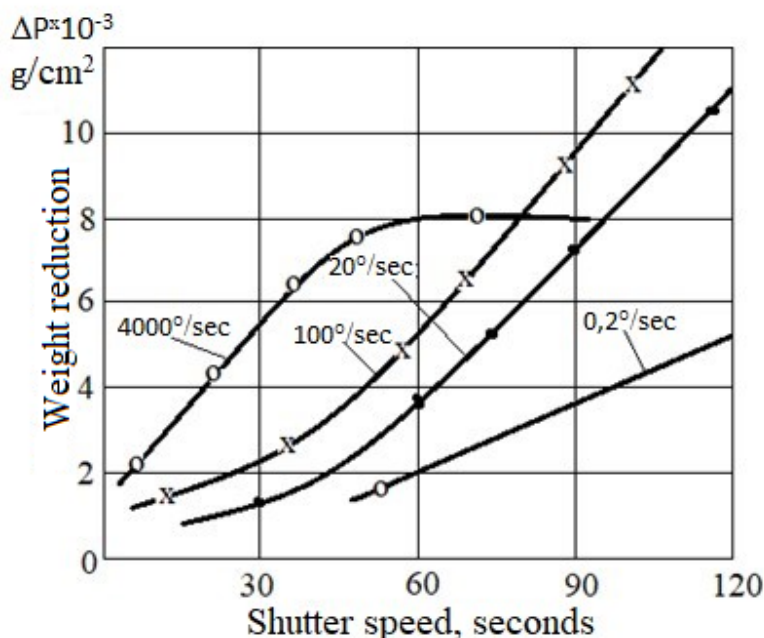


Figure 2. Influence of heating rate and holding time on weight reduction during gas silicization of Fe-armco

The increased chemical activity of austenite formed under conditions of rapid heating is confirmed by the calculation of the activation energy of the chemical reaction of SiCl with Fe-Armco and steel 45. The calculation shows that an increase in the heating rate from 200 to 4000

deg/s reduces the activation energy of the chemical reaction of SiCl with Fe-armco from 39.0 to 28.0 kcal/g-atom, and with steel 45 from 50.0 to 38.0 kcal/g-atom.

To directly identify the primary role of austenitic grain boundaries in accelerating the siliconization process, we conducted electron microscopic studies of the earliest stages of siliconization. Initially, certain volumes of a mixture of SiCl<sub>4</sub> and argon were injected into a vacuum chamber onto a sample heated at different rates. The silicon tetrachloride then reacted with iron to form silicide. Subsequently, carbon replicas were sputtered onto the samples, separated, and viewed under 7,000 to 10,000x magnification.

The formation of silicide nuclei occurs primarily at defective surface areas, in particular, at grain boundaries, grain boundary junctions, etc. Thus, by changing the length of the austenite grain boundaries, it is possible to change the density of the new phase nucleation, which should affect the formation kinetics and the structure of the future layer. A similar involvement of austenite grain boundaries in the nucleation of a new phase was shown in [7] when studying the initial stages of gas chromium plating. An increase in the heating rate, increasing the diffusion susceptibility of austenite, leads to the appearance of structural features of the diffusion layers, their nature and properties. It is known that during the diffusion saturation of medium or high carbon steels, layers of chromium and, in some cases, iron-chromium carbide are formed on their surface. When heated at a speed of 20 degrees per minute, a layer with a microhardness of 1500 to 1900 kg/mm<sup>2</sup> was observed, which confirms its carbide nature. Microhardness measurements on the layer also confirm its carbide nature. X-ray diffraction phase analysis revealed the presence of 23C6 carbide (Cr Fe) in the layer. During heating at speeds of 100 and 4000 deg/s, the microhardness of the outer layer was only 950-1250 kg/mm<sup>2</sup>. Microhardness measurements also confirmed the absence of a carbide layer. X-ray phase analysis revealed the presence of a  $\sigma$ -phase in the diffusion layer. The presence of the  $\sigma$ -phase in the diffusion layer was also revealed by special etching, which is described in detail in [8].

Similar features in the structure, nature and properties of the layers are observed when steel is saturated with chromium from active pastes. For example, the microstructure of steel 45 in the case of fast-heat chrome plating differs significantly from the structures obtained during conventional chrome plating [9-10]. Firstly, the predominant diffusion of chromium along the grain boundaries is clearly observed, and secondly, the process at temperatures above 1200°C leads to the formation of a layer with a rather large concentration heterogeneity both in thickness and length of the layer.

#### IV. CONCLUSIONS

The application of electric heating significantly changes the internal structure of the alitic layer. Microhardness, micro-X-ray spectral and X-ray phase analysis revealed that during electric heating at 20 and 100 degrees per second, the outer brittle zone in the alitized layer, which is usually formed during alitization from powders in a furnace, is absent. The layer consists only of columnar grains arranged perpendicular to the surface of the sample. This increases the plastic properties of the layer and the product as a whole.

In the case of steel saturation with carbon and nitrogen from pastes, the use of rapid electric heating creates more favourable conditions for maintaining the paste's activity, increases the concentration of carbon and nitrogen in the surface zones of the layer, and increases microhardness. When saturated with other elements from pastes under conditions of rapid heating, peculiarities arise in the kinetics of formation, in the structure and properties of the layers. For example, siliconisation of pastes leads to the formation of a dense, porous layer, boronisation does not result in the formation of iron borides with high hardness and brittleness, and saturation with titanium does not lead to the formation of an intermetallic compound.

#### REFERENCES

- [1] Xu, D., Ji, C., Zhao, H. et al. A new study on the growth behavior of austenite grains during heating processes. *Sci Rep* 7, 3968 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04371-8>
- [2] Q. Zhang, H. Wang, M. Zhu, X. Su, M.I. Zhou, and X. Guang, In-Situ Observation on Austenite Grain Growth of a Nb Microalloyed High-Carbon Steel, *J. Iron Steel Res.*, 2022, 34(08), p 794–797.

- [3] Shi, X. B. et al. Grain size effect on stress hysteresis of nanocrystalline Ni Ti alloys. *J. Alloy Compd.* 688, 73–75 (2016).
- [4] Park, J. W. & Shin, K. S. Improved stretch formability of AZ31 sheet via grain size control. *Mat. Sci. Eng. A* 688, 62–72 (2017).
- [5] Y. Feng, R. Song, Z. Pei, R. Song, and G. Dou, Effect of Aging Isothermal Time on the Microstructure and Room-Temperature Impact Toughness of Fe-24.8Mn-7.3Al-1.2C Austenitic Steel with  $\kappa$ -Carbides Precipitation, *Met. Mater. Int.*, 2018, 24(5), p 1003–1007.
- [6] S. Hu, Z. Zheng, W. Yang, and H. Yang, Fe-Mn-C-Al Low-Density Steel for Structural Materials: A Review of Alloying, Heat Treatment, Microstructure, and Mechanical Properties, *Steel Res. Int.*, 2022, 93(9).
- [7] J. Zhang, Y. Jiang, C. Hu, G. Ji, C. Song, and Q. Zhai, Effect of Cr on Phase Transformation Behavior of Austenite in Fe-20Mn-9Al-1.2C-XCr Low-Density Steels During Isothermal Aging, *Met. Mater. Int.*, 2022, 28(11), p 2583–2595. H. Jung, G. Lee, M. Koo, H. Song, W.S. Ko, and S.S. Sohn, Effects of Mn Segregations on Intergranular Fracture in a Medium-Mn Low-Density Steel, *Steel Res. Int.*, 2023, 94(2).
- [8] S. Guo, H. Zhu, J. Zhao, M. Song, J. Li, and Z. Xue, Effects of Nitrogen on the Microstructure and Mechanical Properties of Fe-28Mn-10Al-0.8 C Low-Density Steel, *Steel Res. Int.*, 2022, 93(8).
- [9] Y.T. Huo, Y.L. He, N.Q. Zhu, M.L. Ding, R.D. Liu, and Y. Zhang, Deformation Mechanism Investigation on Low Density 18Mn Steels under Different Solid Solution Treatments, *Metals.*, 2021, 11(9).
- [10] W. Wang, Z. An, S. Luo, and M. Zhu, In-Situ Observation of Peritectic Solidification of Fe-Mn-Al-C Steel with Medium Manganese, *J. Alloys Compd.*, 2022, 909.

# Determining the influence of technological parameters on the pelletization of charge materials

Oleksii Hrechanyi, Tetiana Vasilchenko, Andrii Vlasov

*Department of Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University  
Zaporizhzhia, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

The productivity of blast furnaces, coke consumption during blast furnace smelting and the quality of molten cast iron depend on the quality of the charge materials (iron content, constancy of the physical and chemical composition, the amount of harmful impurities, etc.). Therefore, the preparation of charge materials for melting is one of the most important stages of metallurgical production.

Agglomeration is the thermal process of pelletizing the crushed materials, which are the iron-containing part of the charge, by sintering them in order to give them the properties necessary for blast furnace smelting. The method of agglomeration is based on the burning of fuel in a layer of sintering material with continuous suction of air through it [1].

Before sintering, the charge is mixed, moistened and clodded or granulated, as a result of which wet lumps of 0.5-5 mm size are formed from the dusty material, while the layer of the charge becomes gas permeable, which favorably affects the sintering process [2].

In this way, the quality of the agglomerate is affected by the pre-clogged charge, so the research of the technological aspects of clotting is a rather promising and relevant topic.

## II. ANALYSIS OF RECENT RESEARCHES AND PUBLICATIONS

In the work [3], the authors focus on the fact that the particle size distribution in a layer of loose material is one of the fundamental factors affecting its coagulation. One of the solutions to the problem of obtaining as much condensation as possible of clod raw material by controlling the granulometric composition of the clod material is the development of an automatic process control system based on the method of recognition optimization [4]. According to the materials of works [5,6], it can be concluded that the nature of the movement of the material in the rotating drum depends on the degree of its filling, the frequency of rotation and the condition of the inner surface, and the density of the material.

When developing a system for automatic control of the pelletizing process of charge materials, the authors of [7] were guided by the influence of the technological parameters of the pelletizer, namely, its speed of rotation and the angle of inclination, on the quality of pelletizing, which were established back in 1966 by the metallurgical scientist, professor V. I. Korotych.

Professor V.I. Korotych established that three main flow modes of the process can occur during pelletization of iron-ore materials - rift mode, "waterfall" mode and cyclic mode. The most favorable mode for pelletization is the rift mode, for mixing the charge - the "waterfall" mode. Cyclic mode is not suitable for either pelletization or mixing, because the velocity gradient of individual elementary rotating layers is small, that is, their mixing does not occur. Settings of the dependence on the speed of mixing drum's rotation and its design parameters when creating one or another mixing mode were established, in particular:

- the calculated upper limit of the drum rotation speed for the rift mode:

$$n_{\text{rift(max)}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{-\cos(\psi + 2\alpha \cdot 0,5)}{R}}, \text{ XB}^{-1} \quad (1)$$

where  $\psi$  – the angle of the natural slope of the loose material;

$2\alpha$  – the central angle, which characterizes the degree of drum filling;

$R$  – inner radius of the drum.

– the upper limit of the waterfall mode is speed:

$$n_{\text{waterfall(max)}} = \sqrt{\frac{250}{R}}. \quad (2)$$

– critical speed at which the cyclic mode of movement of the loose body begins and mixing and pelletizing ceases:

$$n_{\text{cyclic}} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{R}}. \quad (3)$$

The aim of the study was experimental confirmation of the above theoretical propositions.

### III. RESULTS

The experiment to establish the modes of movement of the loose body in the mixer drum of the pelletizer was performed on a laboratory model installed at the Department of Metallurgical Equipment of Zaporizhzhia National University (**Fig. 1**), its geometric characteristics are shown in Table 1.

Table 1 – Geometrical characteristics of the drum mixer-pelletizer model

| The name of the characteristic         | Unit | Value |
|--|------|-------|
| Inner diameter of the drum             | m    | 0,260 |
| Outer diameter of the drum             | m    | 0,275 |
| Drum length                            | m    | 0,960 |
| The gear ratio of an open notched pair | -    | 1,978 |



**Fig.1.** Drum mixer-pelletizer laboratory model

Research was carried out for charges of different densities. The central angle of the drum was taken from 60 to 130 degrees, the degree of filling of the drum is given in Table 2.

During the experiment, it was possible to achieve the rift mode (**Fig. 2**)

Table 2 – Dependence of the degree of drum filling on the central angle

| Value of the central angle $2\alpha$ , degree | Degree of drum filling $\delta$ , % |
|---|-------------------------------------|
| 60  | 2,9                                 |
| 80  | 6,5                                 |
| 100   | 12,1                                |
| 120   | 19,5                                |
| 130   | 23,9                                |



**Fig.2.** Material's pelletization in the rift mode

#### IV. CONCLUSIONS

Based on the results of the research, the following conclusions can be drawn:

- the formula for setting the limit speed for the rift mode for a loose body is close to the real speeds when the drum is filled from 20 to 24%;
- the formula for setting the speed of the waterfall mode of movement of the loose body is more accurately approximated to the actual one, but also "works" when the drum is filled in the range of 19.5-24%;
- for determining the speed of cyclic movement, the calculation formula is the least acceptable, as it accurately describes only the technological process when the drum is filled by at least 23.9%

Proposed by Professor V.I. Korotych formulas do not reflect the influence of material density on the speed limit of setting one or another of the modes, although the study indicates that the material density has a significant influence on the indicators of the speed limit.

#### REFERENCES

- [1] Rusanov I. F., Petrushov S. M. Designs and equipment of the biting factory: study guide. Alchevsk: DonDTU, 2010. 272 s. (in Ukrainian)
- [2] Raw materials and their preparation for metallurgical processes / I.F. Chervonyi et al. Zaporizhzhia: ZDIA, 2013. 408 p. (in Ukrainian)
- [3] Paziuk M. Yu., Miniailo N. O., Romanenko Yu. O. Analysis of existing methods and devices for controlling the granulometric composition of bulk materials. *Metallurgy*. 2018. Vol. 39, No. 1. P. 15–21. (in Ukrainian)
- [4] Renhevyh O. V., Ovchinnikova I. A., Shumykin S. O. Development of a simulation model and assessment of the practical realization of the self-contained unit by the process of bulking of charge materials in drum compactors. *Metallurgy*. 2017. Vol. 38, No. 2. P. 5–13. (in Ukrainian)
- [5] Improving the technology production of quality agglomerate / Bochka V. et al. *Theory and practice of metallurgy*. 2019. Vol. 1, no. 1. P. 5–14. URL: <https://doi.org/10.34185/tpm.1.2019.01>
- [6] Kozhanov T. V., Yagolnik M. V., Dyadin A. A. Investigation of influence of mechanical activation of slimes contained in sinter burden grains on the quality of agglomerate. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. No. 5. P. 5–8.
- [7] Assessment of the practical functioning of the control system for the lumping of bulk materials in drum lumpers based on the recognition method / M. Yu. Paziuk et al. *Metallurgy*. 2019. T. 41, № 1. S. 9–13. (in Ukrainian)

# Комп'ютерне моделювання процесу волочіння шестигранних профілів

Костянтин Таратута, Сергій Востоцький

*Запорізький національний університет  
м. Запоріжжя, Україна*

## I. Вступ

Основним способом виробництва каліброваного сталевого шестигранного прокату є волочіння гарячекатаної шестигранної заготовки у монолітній філь'єрі. Використання більш дешевого прокату з перерізом у формі кола для волочіння шестигранного профілю дозволить скоротити витрати на 10-15%. Однак цей процес має свої особливості, що потребує моделювання та дослідження. Поточне дослідження стосується виробництва шестигранних профілів з круглих заготовок.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогодні в Україні не діє ГОСТ 8560-78, що регламентував виробництво каліброваного шестигранного прокату. Основи комп'ютерно моделювання процесу волочіння фасонних профілів викладено у роботах [1, 2]. Автори вказують на наявність в процесі волочіння фасонних профілів значної нерівномірності деформацій у перерізі та значних складнощі при формуванні граней профілів. Подальше комп'ютерне моделювання виробництва шестигранних профілів дозволить сформулювати бачення перспектив розвитку цього процесу.

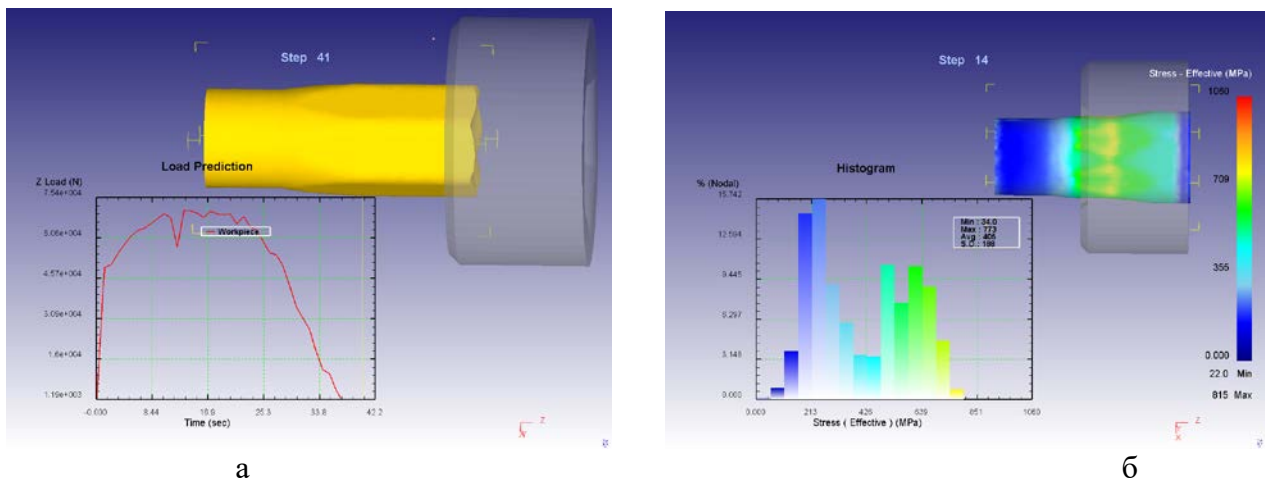
## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Метод кінцевих елементів (МКЕ) є одним з найефективніших методів дослідження процесу волочіння. Серед програмних продуктів, що використовують МКЕ, можна виділити систему моделювання технологічних процесів DEFORM-3D. Зазначена програма дозволяє аналізувати тривимірну поведінку металу при деформуванні. Детально процес підготовки та проведення моделювання описано у роботах [3 - 5]. Слід зазначити, що модель волочильного інструменту та заготовку було попередньо створено у програмі SolidWorks з подальшим збереженням у форматі \*STL. В подальшому, у програмі DEFORM-3D на отриману об'ємну модель була нанесена сітка, що мають форму тетраєдрів.

Під час моделювання використовували такі припущення: процес є ізотермічним; матеріал заготовки ізотропний, пружньо-пластичний; заготовка не має внутрішніх і зовнішніх дефектів; сили зовнішнього тертя враховуються застосуванням закону напівсухого тертя Зібеля; усі об'єкти, крім заготовки абсолютно жорсткі.

Схема волочіння з круглого профіля у шестигранний включає три стадії, з послідовним наближенням форми до шестикутника. Загальний вигляд процесу волочіння представлено на рис. 1 а. Отримана діаграма залежності зусилля волочіння від часового проміжку показує поступове збільшення зусилля до моменту остаточного формування профілю, з подальшим незначним його коливанням. Виникаючі напруження в осередку деформації, при формуванні профілю представлені на рис. 1 б. Представлена гістограма зміни напружень по довжині осередку деформації показує наявність найбільших напружень на перехідній ділянці від конічної частини волоки до калібруючої зони.

Для формування потрібної форми шестикутника сумарний відносний обтиск заготовки має складати не менше 0,25.



а – загальний вигляд процесу  
б – епюра та гістограма розподілу напружень в осередку деформації

Рисунок 1 – Схема процесу волочіння шестигранного профілю

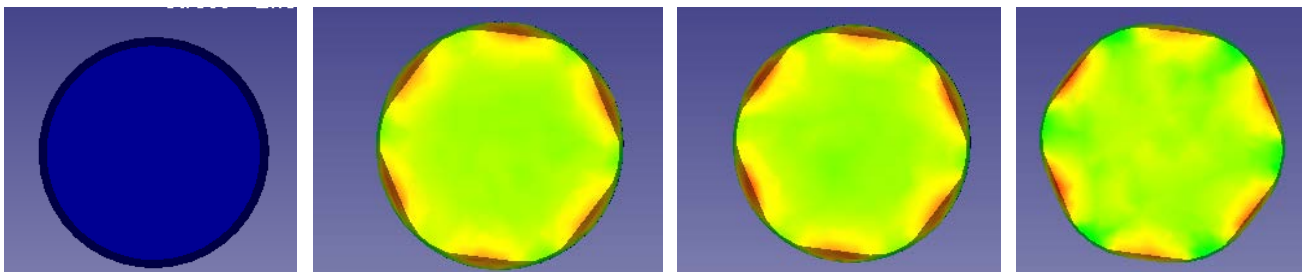


Рисунок 2 – Стадії формування шестигранного профілю (поперечний переріз)

#### IV. ВИСНОВКИ

При моделюванні процесу волочіння круглої заготовки через шестигранну волоку отримано розподіл нормального тиску в областях контакту заготовки та шестигранної волоки. Визначено енергосилові параметри деформування залежно від ступеня деформації, механічних властивостей, коефіцієнта тертя. Показані стадії формування профілю.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Kobayashi, M. The present situation of cold drawn special sections. JSTP 1998, 39, 43–45. (date of access: 25.04.2024).
- [2] Sahoo S. K., Kar P. K. Round-to-hexagon drawing through straightly converging dies: an application of the SERR technique. International Journal of Mechanical Sciences. 2000. Vol. 42, no. 3. P. 445–449. URL: [https://doi.org/10.1016/s0020-7403\(99\)00015-6](https://doi.org/10.1016/s0020-7403(99)00015-6)
- [3] Таратута К. В., Проценко В. М., Востоцький С. М. Комп'ютерне моделювання процесу волочіння сплавів на основі титану. IV Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси (IMTCK-2023), 25-26 травня 2023р. Черкаси. 2023. С. 40-42. URL: [https://fotius.cdu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/Book\\_IMTCK\\_2023.pdf](https://fotius.cdu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/Book_IMTCK_2023.pdf).
- [4] Таратута К. В., Vostotskyi S. ., Chyrkov V. . Transfer of 3D models from CAD to CAE programs. Information technologies: science, engineering, technology, education, health: abstracts of reports of the XXXI International scientific-practical conference MicroCAD-2023 Kharkiv: National Technical University "Kharkiv Polyte, 2023. С. 211. URL: [http://science.kpi.kharkov.ua/wp-content/uploads/2023/05/Zbirnik-tez-MicroCAD-2023-new\\_compressed-1.pdf](http://science.kpi.kharkov.ua/wp-content/uploads/2023/05/Zbirnik-tez-MicroCAD-2023-new_compressed-1.pdf).
- [5] Taratuta K. ., Vostotskyi S. ., Chyrkov V. . Data exchange between engineering 3D modeling programs. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС –2023): матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції м. Чернігів: Національний університет «Чернігівська політе, 2023. Т. 2 С. 221-223. URL: <https://conference-chernihiv-polytechnic.com/wp-content/uploads/2023/06/Tezy-2023-Part-2.pdf>

# Ливарна технологія одержання високоентропійного сплаву Al-Cu-Ni-Cr-Fe та його властивості

Анатолій Верховлюк<sup>1</sup>, Ростислав Лютий<sup>2</sup>, Дмитро Матковський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

## I. ВСТУП

Високоентропійні сплави (ВЕС) є особливими матеріалами, які вважаються суперсплавами, оскільки вони мають низку унікальних характеристик та неординарну структуру, що підкреслює їх велике значення в сучасній науці та технології.

Унікальність ВЕС проявляється у складності їх структури, що забезпечує їм високу міцність та стійкість за високих температур. Вони також мають високу стійкість до окиснення, можуть працювати у високотемпературних середовищах, в енергетиці, аерокосмічних конструкціях та інших галузях, де необхідні висока міцність та стійкість.

Існують різні способи створення ВЕС, але зважаючи на те, що вони являють собою суміш п'яти або більшої кількості різних металів, найбільш простим способом їх отримання є сплавлення компонентів між собою, тобто ливарна технологія. Процеси плавлення цієї групи сплавів на сьогодні мало досліджені, також недостатньо інформації щодо механічних властивостей цих сплавів у литому стані.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Високоентропійні сплави мають декілька значних відмінностей порівняно зі звичайними сплавами [1]:

- випадкове розташування атомів у кристалічній ґратці (висока ентропія означає, що атоми розташовані хаотично);
- сплав із п'яти або більшої кількості компонентів, при цьому жоден із них не переважає і не може вважатися основою сплаву;
- висока міцність, яка пояснюється дислокаційним зміцненням;
- жароміцність, тобто сплав зберігає свої механічні властивості після нагрівання до високих температур;
- деякі ВЕС можуть мати високу стійкість до корозії, що робить їх приваблими для використання в умовах агресивних середовищ (висока вологість або хімічна корозія).

Евтектичні ВЕС системи Co-Cr-Fe-Ni-Ta<sub>x</sub>, де  $x = 0,1; 0,2; 0,3; 0,395; 0,4$  і  $0,5$  [2] мають особливі фізико-хімічні властивості, включаючи термічну стійкість і механічну міцність, що дає змогу їм знаходити застосування в різних галузях.

Існує система ВЕС, отриманих із групи елементів V-Cr-Mn-Fe-Co-Ni [3], яка проявляє високу стійкість до абразивного зношування. Ці сплави мають структуру, схожу на природні композиційні матеріали з пластичною металевою матрицею, яка являє собою твердий розчин з гранецентрованою кубічною (ГЦК) структурою, додатково армованою твердою фазою, позначеною як  $\sigma$ -фаза.

Унікальні ВЕС Fe-Cr-Cu-Ni-Mn-Si та Fe-Co-Cu-Ni-Mn-Si, загартовані з рідкого стану за допомогою методики sput-охолодження [4], мають унікальну структуру, яка формується завдяки високій швидкості охолодження, що сприяє утворенню твердих розчинів з гранецентрованими кубічними ґратками.

Відомі також багатокомпонентні сплави [5] системи Al-Cu-Ni-Fe-Cr-Ti-V, отримані процесом механічного легування з подальшим спіканням. Експериментальні дослідження показали, що навіть після процесу відпалу до температури 1000 °С, ці сплави продовжують мати склад, який складається з фаз на основі об'ємноцентрованої кубічної (ОЦК) і гранецентрованої кубічної (ГЦК) ґраток. Це вказує на наявність особливих закономірностей формування структури та фазового складу у цих сплавах.

У роботі Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України представлено результати досліджень ВЕС системи Fe-Co-Ni-Mn-Cr на предмет жароміцності та визначення температури початку окислення. Сплав проявив високу стійкість до окислення та підтвердив загальну тенденцію щодо здатності подібних матеріалів до використання у високотемпературних умовах [6].

Як правило, структура металевої матриці ВЕС являє собою суміш твердих розчинів з ГЦК або ОЦК ґратками. Сплав системи Al-Cu-Ni-Cr-Fe є новим, тому про його фазовий склад інформації немає. Для ливарної технології важливими є такі властивості як температура плавлення та рідко текучість. Ця інформація щодо наведеного сплаву також відсутня. Крім цього, практично відсутні дані щодо механічних властивостей цього сплаву, а також динаміки його фазових перетворень під час нагрівання. Ця інформація важлива з точки зору прогнозування можливих галузей використання сплаву та його роботи в екстремальних умовах.

Зважаючи на проведений аналіз наявних наукових та практичних даних, метою нашої роботи є визначення особливостей одержання високоентропійного сплаву системи Al-Cu-Ni-Cr-Fe ливарними методами, встановлення його структури та властивостей.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Під час підготовки шихтових матеріалів для створення сплаву Al-Cu-Ni-Cr-Fe було використано різноманітні складові з точними пропорціями (по 20% атомної частки кожного елемента в загальній кількості). Для отримання сплаву було використано такі матеріали:

- легований чавун, який за результатами хімічного аналізу має наступний склад, мас. %: Fe – 73,2; Ni – 16,0; Cr – 2,1; Mn – 0,9; Cu – 2,8; C – 2,8; Si – 2,0; S – 0,025; P – 0,035;
- катодний нікель з високою чистотою (99,99% основного елемента);
- хром електролітичний марок ЄРХ1, Х99 (99,5% основного елемента);
- мідний електротехнічний дріт марки М0 з масовим вмістом міді 99,93%;
- алюміній чушковий високої чистоти марки А95 (99,95% алюмінію).

Перед плавленням було проведено попередню підготовку лігатури з алюмінію і міді (Al-Cu). Цю лігатуру було використано з метою забезпечення зручного та рівномірного розподілу компонентів у сплаві, досягнення кращого контролю однорідності в процесі плавлення, порівняно з використанням окремих дротів міді.

Всі експериментальні плавки проведено в індукційній тигельній печі місткістю 6,0 кг.

Відливали зразки для визначення міцності на розтягування, твердості за шкалою Брінелля, а також рідкотекучості сплаву. Усі наведені зразки одержували за допомогою піщано-глинястих форм із додаванням рідкого скла. Плавлення з метою рівномірного змішування компонентів проводили близько до температури 1580 °С. Заливання проводили за температури (1450 ± 20) °С.

За допомогою рентгенофазового аналізу було встановлено, що склад високоентропійного сплаву за нормальних умов являє собою суміш структурних складових, які мають ГЦК та ОЦК-ґратки. Також в структурі сплаву виявлено карбіди переважно шестикутної форми та газоусадкові пори.

Із застосуванням методу синхронного термічного аналізу вперше встановлено основні точки фазових переходів сплаву, такі як: температура ліквідус 1343,5 °С, температура солідус 1231,9 °С, відповідно до цього інтервал кристалізації 111,6 °С. Також встановлено інтервали взаємного розчинення та існування фаз із різною кристалічною будовою.

За допомогою пруткових проб модифікованої конструкції досліджено рідкотекучість ВЕС за температури заливання ( $1450 \pm 20$ ) °С та проведено порівняльний аналіз цієї характеристики з аналогічними характеристиками чавунів:

- сірого чавуну складу, мас. %: С – 3,0; Si – 2,0; Mn – 0,6;
- високохромистого чавуну складу, мас. %: С – 3,0; Si – 1,4; Mn – 1,6; Cr – 18,8; Ni – 3,0;
- спеціального чавуну складу, мас. %: С – 3,0; Si – 2,0; Ni – 17,0; Cu – 2,5; Cr – 2,5; Mn – 1,4.

Було виявлено, що досліджений сплав Al-Cu-Ni-Cr-Fe має кращу рідкотекучість (102 мм), ніж сірий чавун та спеціальний чавун (72 мм та 90 мм відповідно) і за цим показником наближений до високохромистого чавуну (104 мм).

Вперше визначено основні механічні властивості ВЕС Al-Cu-Ni-Cr-Fe за допомогою стандартних методик. Установлено, що тимчасовий опір розриванню становить 450...550 МПа, і цей результат переважає спеціальний чавун, який має міцність 197...220 МПа, та наближається до високоміцних чавунів (400...600) МПа. Характеристика пластичності (відносне видовження) складає 2,0%. Твердість за методом Брінелля становить 321-341 НВ, тобто сплав має досить високу твердість, але при цьому придатний до механічного оброблення.

#### IV. ВИСНОВКИ

В роботі вперше досліджено ливарну технологію отримання високоентропійного сплаву системи Al-Cu-Ni-Cr-Fe та визначено його технологічні та механічні властивості. Нестандартне поєднання п'яти різних металів призвело до утворення складного твердого розчину і відповідної до нього кристалічної ґратки, що і зумовило комплекс властивостей. Основні результати наступні:

1. Структура металевої матриці сплаву Al-Cu-Ni-Cr-Fe представлена сумішшю ОЦК і ГЦК-ґраток, що є характерним для переважної більшості ВЕС. Наявність незначної кількості вуглецю призвела до появи у структурі сплаву додаткових карбідів заліза та хрому.

2. Досліджений сплав має високий рівень ливарних властивостей: за рідкотекучістю він наближений до чавунів різного хімічного складу, що робить його перспективним ливарним матеріалом.

3. За показником міцності (450...550 МПа) сплав знаходиться на рівні вуглецевих та низьколегованих сталей, а також високоміцних чавунів ферито-перлітного класу.

4. Незважаючи на наявність карбідної складової, яка призводить до підвищення твердості до 320...350 одиниць за шкалою Брінелля, сплав має задовільну пластичність (відносне видовження близько 2,0%), а також придатний до механічного оброблення. Наведений комплекс властивостей повною мірою задовольняє умовам виготовлення литих деталей.

5. Подальшому дослідженню підлягають спеціальні властивості створеного сплаву: зносостійкість, ударна в'язкість, корозійна стійкість, жаростійкість тощо.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Zhang Wei and Zhang Yong (2018). Science and technology in high-entropy alloys. *Science China Earth Science*. 2-22
- [2] W. Huo, H. Zhou, F. Fang, X. Zhou, Z. Xie and J. Jiang. (2018). Microstructure and properties of novel CoCrFeNiTax eutectic high-entropy alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 735. – P. 897-904. doi:10.1016/j.jallcom.2017.11.075
- [3] М.В. Карпець (2015). Нові матеріали. Вплив вмісту Ni на зносостійкість литого високоентропійного сплаву VCrMnFeCoNi<sub>x</sub>
- [4] В.А. Полонський, В.Ф. Башев та О. І. Кушнерьов. Структура та корозійно-електрохімічні властивості швидкозагартованих високоентропійних сплавів Fe5CrCuNiMnSi та Fe5CoCuNiMnSi
- [5] В.В. Чернявський. Закономірності формування структури та механічних властивостей високоентропійних сплавів системи Al-Cu-Ni-Fe-Cr-Ti-V в процесі механічного легування та спікання: автореф. дис. канд. техн. наук.: 05.16.06 – порошкова металургія та композиційні матеріали / Чернявський В. В. – Київ, 2016. – 26 с.
- [6] Звіт НДР «Дослідження вискотемпературного окислення високоентропійних сплавів», ФТІМС НАН України, 170 с.

# Modern Methods and Future Prospects of Animal Fat Conversion into Biofuel

Vladyslav Sukhenko

*Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine  
Kyiv, Ukraine*

Yevgeny Sukhenko

*National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine  
Kyiv, Ukraine*

## I. INTRODUKTION

The thesis examines the possibilities of processing fat-containing poultry waste into biological diesel fuel and its potential as a sustainable source of energy. Various technological aspects of production, environmental advantages and challenges are considered. Various approaches and future perspectives of technologies are highlighted.

## II. ANALYSIS OF LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS

There are many types of fuels from bio-waste. A distinction is made between gaseous biofuel (biogas, hydrogen), obtained due to the decomposition of organic residues by bacteria (fermentation), and solid biofuel (wood, straw, husks). The most commercially used short-chain alcohol for the transesterification reaction is methanol due to its low price, but there are studies on the use of other alcohols, such as ethanol, propanol, and butanol [1].

Other authors have found that raw materials alone account for more than 75% of the total cost of biodiesel production, so choosing the best and cheapest raw materials is vital to ensure low production costs. Continuity of the transesterification process was also found to be another choice for minimizing production costs. Currently, biodiesel can be more efficient when used as a supplement to other energy sources. At one time, the authors Alptekin and Canakci had already conducted some research for the production of methyl esters, for the production of which inexpensive chicken fat was used. After reducing the free fatty acid level in chicken fat to less than 1%, they completed the transesterification reaction using an alkaline catalyst. Potassium hydroxide, sodium hydroxide, potassium methoxide, and sodium methoxide were used as the catalyst, and methanol was used as the alcohol for transesterification reactions. The influence of the type of catalyst, reaction temperature and reaction time on the fuel properties of methyl ethers was investigated. [2,3].

Our scientific interest was the analysis, selection and determination of the most effective catalyst for reducing the level of UVC during the esterification of chicken fat, as well as the determination of the dependence of the achievement of the optimal result on the methanol/fat molar ratio, the amount and type of acid catalyst, as well as the external conditions of the reaction.

The purpose of the work is to analyze the process of processing fat-containing waste of poultry processing enterprises into biofuel and to study its potential in providing sustainable and ecologically clean energy.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

- study of the chemical composition of fat-containing waste generated during technological operations at poultry farms;
- collection of fat-containing waste;
- hydrogenation of extracted fat;
- research on the possibility of obtaining biofuel by transesterification of fats.

### III. PRESENTING MAIN MATERIAL

In the studies, technical chicken fat was used, which was heated to 75-80°C and kept at this temperature for one hour with constant stirring to remove moisture, and then filtered to separate insoluble impurities.

The authors of the paper [4] believe that the level of free fatty acids (FFA) in the raw material should be reduced to 1% before using an alkaline catalyst for fat transesterification. Therefore, the first step in the research was the preliminary preparation of chicken fat. The fat used had an acid value (AC) of 5-45 mg KOH/g. Since the acid value of the fat was more than 2 mg KOH/g, it was necessary to carry out esterification of this raw material.

Determination of the content of unsaponifiable substances and mineral substances (ash) was carried out by standard methods according to DSTU ISO 3596:2004. KC (the amount of VLC) was determined according to the methodology of DSTU EN ISO 660:2019 Determination of acid number and acidity. The amount of synthesized methyl esters of fatty acids, the density of biofuel and its sulfur content were determined in accordance with DSTU EN 14214:2019 Automotive fuel. Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines. Requirements and test methods.

To melt the fat, the mixture containing the fat was crushed, and water was added to it in a substrate/water ratio of 2:1. The mixture was heated to a temperature of 75-80 °C and kept for 40 minutes.

Separation of fat from the water-protein part was carried out by centrifugation at a rotation frequency of the centrifuge rotor of 3000-3500 rpm for 20 minutes. In fig. Figure 1 shows the dependence of fat yield on the temperature of heating.

The nature of the curve (Fig. 1) shows that as the temperature rises from 55 to 80 °C, the output of fat increases by 28%. When the temperature rises to 100 °C, it decreases. The reason for this is, apparently, the formation of lipid-protein complexes with an excessive increase in temperature. Thus, the optimal level of heating temperature is the interval of 78-82 °C.

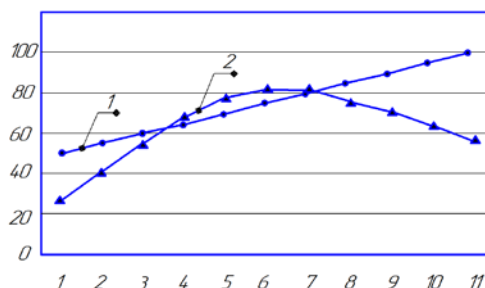


Figure 1. Dependence of fat yield on melting temperature:

1 – melting point, °C, 2 – yield of fat, %

At the specified temperature, the processes of heat denaturation of proteins are intensified, the structure of cells is destroyed, which ensures an increase in the yield of fat up to 83%.

Methanol was used for pretreatment of technical chicken fat, and sulfuric ( $H_2SO_4$ ), hydrochloric (HCl), and nitric ( $HNO_3$ ) acids were tested as catalysts [5]. Esterification of VLC was carried out at different alcohol/fat molar ratios, concentrations of acid catalysts, and duration of the reaction. Experiments were performed with heating of the reaction mixture to 60°C on a laboratory setup (Fig. 2).

Taking into account the obtained data, there is a decrease in the viscosity of biofuel with an increase in the reaction temperature. We can state that the density, flash point, methanol content, solidification temperature, heat of combustion, acid value and corrosion on the copper plate of diesel biofuel do not significantly depend on the parameters of the transesterification reaction.

The flash point in a closed crucible is stable and is in the range of 170-173 °C. The acid value of the fat after esterification was 0.67 mg KOH/g, and after transesterification of the acid value fuel, it decreased to 0.22–0.3 mg KOH/g. The heat of combustion of the fuel is close to 40 MJ/kg and is

somewhat lower than that of petroleum diesel fuel, which is inherent in diesel biofuel. The degree of corrosion of the copper plate is consistently low, indicating a low level of aggressiveness of the fuel in relation to diesel engine parts.

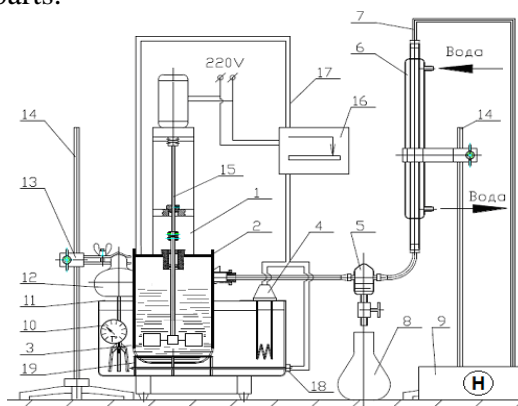


Figure 2. Laboratory installation for studying the process of obtaining diesel biofuel:

1 – tripod with motor, 2 – flask for reagents, 3 – stirrer, 4 – thermostat, 5 – condensate collection, 6 – refrigerator, 7 – pipeline, 8 – flask for condensate collection, 9 – vacuum pump, 10 – thermometer, 11 – water "bath", 12 – stirrer, 13 – clamp, 14 – tripod, 15 – stirrer shaft, 16 – thermostat, 17 – cable, 18 – temperature sensor, 19 – stand.

The flash point in a closed crucible is stable and is in the range of 170-173 °C. The acid value of the fat after esterification was 0.67 mg KOH/g, and after transesterification of the KC fuel, it decreased to 0.22–0.3 mg KOH/g. The heat of combustion of the fuel is close to 40 mJ/kg and is somewhat lower than that of petroleum diesel fuel, which is inherent in diesel biofuel. The degree of corrosion of the copper plate is consistently low, indicating a low level of aggressiveness of the fuel in relation to diesel engine parts.

#### IV. CONCLUSIONS

1. Sulfuric acid is one of the most effective catalysts for reducing the level of free fatty acids during the esterification of chicken fat.

2. The decrease in the level of free fatty acids during the esterification of chicken fat depends significantly on the molar ratio of methanol/fat, the amount and type of acid catalyst, as well as the duration of the reaction.

3. The initial level of free fatty acids in chicken fat (15–27%) can be reduced to 1% by using 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> by weight of fat and methanol in a molar ratio to fat of 40:1 in a reaction at a temperature of 60 °C for 80 min [6].

#### LITERATURE

- [1] Alptekin, E.; Canakci, M. Optimization of pretreatment reaction for methylester production from chicken fat. *Fuel* 2010, 89, 4035–4039. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.04.031>
- [2] Alptekin, E.; Canakci, M. Optimization of transesterification for methyl ester production from chicken fat. *Fuel* 2011, 90, 2630–2638. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.03.042>
- [3] Marulanda, V.F.; Anitescu, G.; Tavlarides, L.L. Investigations on supercritical transesterification of chicken fat for biodiesel production from low cost lipid feedstocks. *J. Supercrit. Fluids* 2010, 54, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.04.001>
- [4] Development and application of various types of bioenergy: [Monograph] / Talavirya M.P., Baranovska O.D., Dobrivska M.V. etc. – Nizhin: Publisher PP Lysenko M.M., 2012. – 180 p. ISBN 978-617-640-060-8.
- [5] Jagadale, S.S.; Jugulkar, L.M. Production and analysis of chemical properties of chicken fat based biodiesel and its various blends. *Int. J. Eng. Res. Dev.* 2012, 1, 34–37. <https://doi.org/10.1080/19397038.2018.1521883>
- [6] Kawahara D.K. 1979: Process for Producing Lower Alcohol Esters of Fatty Acids / D.K. Kawahara, T.O. Yoshihara // U.S. Patent 4,164,506. <https://patents.google.com/patent/US4164506A>

# Mathematical model for predicting transverse warping of lumber

Mariana Udovytska

*Technological College of the Ukrainian National Forestry University  
Lviv, Ukraine*

Volodymyr Mayevskyy, Oleksandr Udovytskyi

*Ukrainian National Forestry University  
Lviv, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

Glued panel structures (GPS) are widely used as structural elements for the manufacturing of various wood products [1, 2]. The main indicators of the GPS quality are their physical and mechanical characteristics, in particular strength and resistance to shape changes, and ignoring the basic recommendations for the selection of wood sections before gluing them into GPS is one of the main reasons for obtaining low-quality products in terms of form stability [3]. However, if the GPS is used for exterior surfaces, their appearance is also important [1, 3, 4]. To determine the value of transverse warping, we propose to use the so-called warping force, which can be predicted on the base of the geometric, physical and mechanical parameters of wood and changes in its moisture content.

## II. ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

Wood moisture content has the greatest impact on the physical and mechanical properties of wood, with changes in which the wood also changes its volume in proportion to the amount of removed or introduced hygroscopic moisture. In this case, there is a change in the shape of the surfaces (deformation) of the lumber [6], and most often such warping is transverse in its width [4, 5, 6, 7, 8]. A similar situation is observed for two-layer glued materials, but the elasticity of the glue and gluing of compressed wood can reduce transverse warping [9, 10]. In lumber with rectangular cross-sections (board, timber, bar), warping is characterized by the movement of the edges of the lumber by a certain amount towards the convexity of the annual rings. This phenomenon is mainly due to the heterogeneity of wood drying in different directions, in particular in the radial and tangential directions, and depends on the location of the lumber in the log, which can be determined by the direction of the annual rings on the lumber surfaces [5, 6].

The problem of deformation of lumber during the drying process, as such, which leads to their unsuitability for use in structures for various purposes, is discussed in [5]. The author believes that the main reasons for this phenomenon are the high sensitivity of wood to changes in humidity, the unevenness of wood properties in the direction from the heartwood to the bark, and the structure and direction of wood fibers.

The results of experimental studies of the form stability of glued panels [11] and numerical and experimental studies of the form stability of glued columns [12] indicate that the form stability of these elements strongly depends on the internal orientation of individual wood sections of these elements. Here, wood is considered as an orthotropic material with large differences between the longitudinal, radial, and tangential directions.

To study the stability of the shape of lumber during its drying and to obtain information about the adverse deformations and stresses that can develop during the drying process, the modeling of the lumber drying process was carried out in [7]. In particular, the following equations were used to calculate an estimate of the expected dimensional changes as the moisture content of wood decreases or increases:  $\Delta D = D \cdot S \left( \frac{\Delta MC}{FSP} \right)$ , where  $\Delta D$  – size change;  $D$  – initial size,  $S$  – total

drying from FSP to 0%;  $\Delta MC$  – change in moisture content (below FSP);  $FSP$  – Fiber Saturation Point (average value 30%). The calculation based on the above formula assumes that radial and tangential drying occurs parallel to the surfaces of the lumber, and therefore does not take into account the curvilinear nature of the annual rings.

The problem of determining the magnitude and nature of lumber deformations is still relevant, although extremely difficult.

### III. PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

The subject of our study is the change in shape and the amount of deformation of lumber in cross-section. The root cause of deformation is internal stresses that appear in wood when the content of hygroscopic moisture changes. The characteristics of drying (swelling) of wood are the corresponding drying coefficients, which characterize the change in the geometric dimensions of the lumber. Therefore, we will consider two drying coefficients: in the radial –  $K_r$  and tangential directions –  $K_\tau$ .

Considering an arbitrary cross-section of a board in the form of a double-braced beam loaded with the force  $P_{жс}$  (Fig. 1), and taking into account that the physical and mechanical characteristics of wood depend on its moisture content, we assume that an equilibrium state appears, which leads to the same deformation for all fibers. Since we consider a linear stress state, two of the six integral equations of stability that describe the equilibrium state of a body in space are not identical:

$$\int_{b_1}^{b_2} \sigma dy = 0; \quad \int_{b_1}^{b_2} \sigma y dy = M; \quad (1)$$

where  $M$  – bending moment, which leads to the curvature of the element axis and is associated with the presence of a warping force.

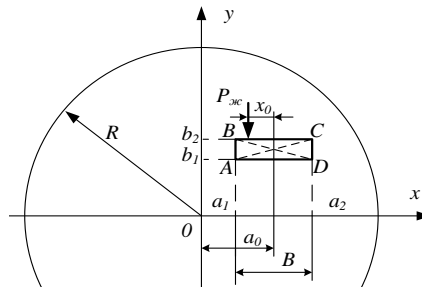


Figure 1 - Schematic for determining the warping force

Finally, the following equation was obtained to determine the warping force  $P_{жс}$ :

$$P_{жс} = \frac{B(1 + \beta \Delta W) \Delta W}{\left(\frac{B}{2} - x_o\right) \left(\frac{B}{2} + x_o\right)} \left[ \left( \frac{E_o K_o (b_2^2 - b_1^2)}{2} + \frac{(E_o C + K_o A) (b_2^3 - b_1^3)}{3} + \frac{AC (b_2^4 - b_1^4)}{4} \right) - \frac{E_o K_o (b_2 - b_1) + (AK_o + CE_o) \frac{(b_2^2 - b_1^2)}{2} + AC \frac{(b_2^3 - b_1^3)}{3}}{E_o (b_2 - b_1) + A \frac{b_2^2 - b_1^2}{2}} \times \left( \frac{E_o (b_2^2 - b_1^2)}{2} + \frac{A (b_2^3 - b_1^3)}{3} \right) \right] \quad (2)$$

For example, we present the results of calculating the warping force (Fig. 3), which causes the deformation of pine lumber acquired in variable temperature and humidity fields with a change (decrease) in humidity by 22%, in particular, the surface of its upper and lower layers (Fig. 3). In the calculations, the following parameters were assumed: the size of the cross-section of the lumber was 20×70 mm, the lumber was sawn asymmetrically relative to the vertical axis Y (Fig. 1), and the drying (swelling) coefficients were taken as follows:  $K_r = 0.17$ ,  $K_\tau = 0.28$ .

The place of sawing (position) of the five lumber pieces that make up the studied glued panel is shown in Fig. 2,a, and the projected appearance of the panel made of five lumber in Fig. 2,b.



Figure 2 - a) position of the lumber in the log; b) projected view of the panel

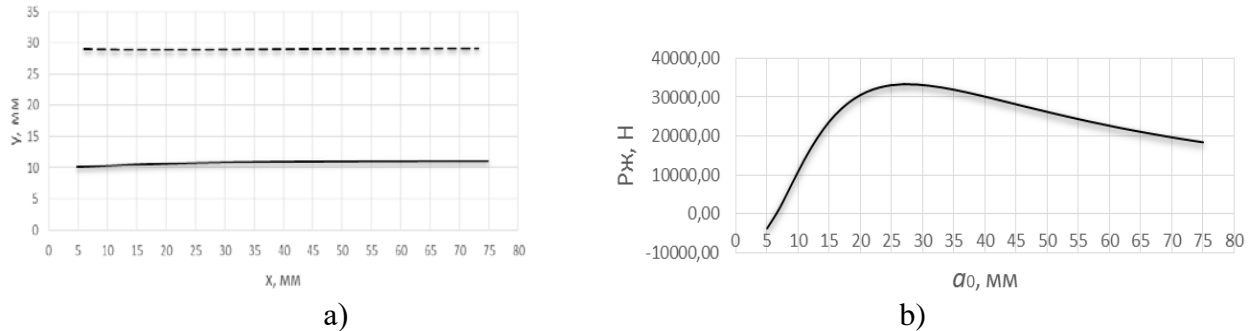


Figure 3 - a) summary graph of the shape change of No.1 lumber layers; b) distribution of warping force along the length of lumber No.1

#### IV. CONCLUSIONS

The study of the shape change of lumber shows that lumber, depending on its placement in the sawing scheme, has different resistance to transverse warping, and the shape of the lumber surfaces mainly depends on its size, moisture content (initial and final) and location in the cross-section of the log. The maximum reduction in the thickness of the lumber is 1.997 mm, which is a significant value and must be taken into account when using lumber in the further manufacturing of products.

#### LITERATURE

- [1] B. Porter. *Carpentry and Joinery* / Porter, Brain. – 2001. – Vol. 1. – 694p. – (Third Edition).
- [2] Diachun, Z. Yo. (2011). *Konstruiuvannia mebliv: Stoly, stiltsi ta krisla, mebli dlia vidpochynku. Vzaiemozaminnist, mitsnist, (part 2)*. Kyiv: Publishing House "Kyiv-Mohyla Academy", 484 p. [In Ukrainian].
- [3] Маєвський В.О., Удовицька М.В. Основні напрями досліджень у виробництві клеєних щитових конструкцій з деревини із дотриманням текстурних особливостей. *Науковий вісник: зб. наук.-техн. праць*. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.5. – С. 150–155.
- [4] М. В. Удовицька, Л. О. Тисовський, В. О. Маєвський, О. М. Удовицький. Дослідження формозміни пиломатеріалів для виробництва клеєних щитових конструкцій. // *Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць*. Вип. 29.03 – Львів, 2019. – С. 85-89.
- [5] Ormarsson, Sigurdur. *Numerical Analysis of Moisture-Related Distortion in Sawed Timber*. Doctoral thesis, monograph. Göteborg: Chalmers University of Technology, Dep. of Structural Mech, 1999, p. 230.
- [6] *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*. Gen. Tech. Rep. / FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. – 2010. – 508 p.
- [7] P. H. Mitchell. Modeling the cupping of lumber. *BioResources*, 2016, 11(3), p. 6416-6425.
- [8] O. Dahlblom, S. Ormarsson, H. Petersson. Simulation of wood deformation processes in drying and other types of environmental loading / *Ann Sci For*, 1996, Volume 53, Number 4, 857-866.
- [9] Li, Ling; Gong, Meng; Chui, Y. H.; Liu, Ying (2016). Modeling of the cupping of two-layer laminated densified wood products subjected to moisture and temperature fluctuations: model application. *Wood Science and Technology*, 50(1), 39–51. doi:10.1007/s00226-015-0775-z.
- [10] Ling Li, Meng Gong, Y.H. Chui, Marc Schneider *Finite Element Analysis on the Shape Change of a TwoLayer Laminated Wood Product Subjected to Moisture Change* / *Proceedings of the 55th International Convention of Society of Wood Science and Technology August 27-31, SP-11, p. 1-7, 2012 - Beijing, CHINA*.
- [11] J. Eriksson; S. Ormarsson; H. Petersson (2004). An experimental study of shape stability in glued boards / *Holz als Roh- und Werkstoff*, 63, 62(3), 225–232. doi:10.1007/s00107-004-0468-z.
- [12] J. Eriksson; S. Ormarsson; H. Petersson (2005). An experimental and numerical study of shape stability in laminated timber columns / *Holz als Roh- und Werkstoff*, 63(6), 423–429. doi:10.1007/s00107-005-0058-8-z.

СЕКЦІЯ 8



# АРХІТЕКТУРА ТА БУДІВНИЦТВО

# Сучасні трактування поняття живучості будівельних конструкцій як складних систем

Дмитро Банніков

*Український державний університет науки і технологій  
м. Дніпро, Україна*

## I. Вступ

Останнім часом в спеціалізованій та фаховій літературі все частіше згадується доволі специфічна проблема живучості будівельних конструкцій та підіймаються питання її оцінки. Ця проблема виявляється особливо актуальною на тлі сучасних подій в Україні, пов'язаних із численними руйнуваннями будівельних конструкцій. Проте на тепер серед фахівців немає єдиної точки зору навіть на саме трактування терміну «живучість». Тому метою даної публікації є своєрідний стислий огляд існуючих поглядів на цей термін у вітчизняній практиці, їх аналіз та розробка авторської концепції цього поняття.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Існуючі на сьогодні точки зору стосовно поняття живучості будівельних конструкцій в першу чергу знайшли відображення в низці фахових наукових розробок. До їх числа належать як класичні роботи М. С. Стрелецького та В. В. Болотіна, так і більш сучасні дослідження вітчизняних фахівців Кудішіна Ю. І., Кулябко В. В., Перельмутера А. В., які узагальнені в роботі [1]. Всі наведені в цих роботах трактування мають доволі схоже ідейне формулювання, хоча й відрізняються в тих аспектах, на яких робиться акцент. Розглянемо основні з них:

1) «живучість – це властивість пошкодженої системи повністю або частково виконувати своє призначення»;

2) «живучість розглядається як властивість системи зберігати при катастрофічних збуреннях здатність до виконання основних функцій, не припускаючи каскадного розвитку збурень і відмов, що в кінці кінців забезпечує подальше відновлення системи».

При цьому в обох трактуваннях опускається один з доволі важливих аспектів – строк, на протязі якого має бути забезпечена живучість будівельної конструкції. А це в свою чергу впливатиме на питання подальшої кількісної оцінки самої живучості. Також доволі складно погодитись з такою позицією авторів в останньому трактуванні, що обов'язково катастрофічні зміни (а не звичні проектні) слід пов'язувати із аваріями та відмовами в будівельних конструкціях.

В самій роботі [1] автором в якості підсумовуючого терміну наводиться таке визначення:

«живучість – властивість зберігати загальну несучу здатність при локальних руйнуваннях, викликаних природними або техногенними впливами на протязі деякого часу». Таке трактування, на наш погляд, є доволі звуженим, оскільки акцент робиться на несучій здатності будівельної конструкції, а питання її функціональності залишаються поза увагою.

Щодо вітчизняної нормативної бази, то вперше визначення терміну «живучість» було наведено у вже відміненому стандарті ДБН В.1.2-14:2009 [2]:

«живучість – властивість об'єкта зберігати обмежену роботоздатність під впливами, що не передбачені умовами експлуатації, за наявності деяких дефектів і пошкоджень, а також за відмови деяких компонентів об'єкта».

Це визначення усуває основні вищезазначені недоліки стосовно діючих впливів та характеру роботи будівельних конструкцій при цьому, проте фактор часу відсутній.

Нові нещодавно введені в експлуатацію норми ДБН В.1.2-14:2018 [3] надають таке трактування:

«живучість – властивість конструкції протистояти таким подіям, як пожежа, вибух, удар або результат людських помилок, без виникнення пошкоджень, непропорційних по відношенню до причини, що викликала пошкодження».

Таке визначення фактично являє собою «крок назад» по відношенню до попередньої термінології, оскільки різко звужується коло можливих чинників, здатних привести до стану «живучості». Також відсутнім знов є фактор часу. Проте надається змога конкретизувати характер відмов, що спричиняють стан «живучості», що є позитивним моментом.

Відмітимо, що вітчизняний стандарт ДСТУ ISO 8930:2022 [4]. Який має безпосереднє відношення до надійності будівельних конструкцій і зв'язаним з нею терміном «живучість», не надає трактування чи визначення цьому терміну.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для формулювання визначення терміну «живучість» будівельної конструкції окреслимо основні аспекти, які має включати цей термін. До таких аспектів слід віднести:

- 1) трактування того, що живучість – це загальна властивість будівельної конструкції, аналогічна до таких властивостей як надійність або довговічність. Більш коректним, навіть, є вважати це «здатністю» конструкції, оскільки при цьому підкреслюється той аспект, що живучість визначається внутрішньою структурною побудовою конструкції та її розглядом як окремої системи;
- 2) трактування того, що «живучість» будівельної конструкції може бути оцінена тільки при дії зовнішніх факторів. При цьому не має значення, яка природа виникнення цих факторів – чи то об'єктивна (наприклад, дія природно-кліматичних факторів), чи то суб'єктивна (наприклад, людська помилка). Також не має значення абсолютна інтенсивність дії цих факторів – головне, що для конкретної будівельної конструкції, як окремої системи, така дія призводить до якісних змін в її структурі, складі або поведінці;
- 3) трактування того, що при дії зовнішніх факторів описані вище зміни в структурі, складі або поведінці будівельної конструкції виявляються такими, що виходять за межі встановлених нормами. При цьому виникає питання, наскільки допускається такий вихід і який кількісний критерій дозволяє оцінити, що для конкретної будівельної конструкції виявляється прийнятним а що вже неприйнятним. Вочевидь це є найбільш складний аспект трактування терміну «живучість», оскільки подібний критерій для кожного випадку фактично є унікальним. Проте на нашу думку, все ж таки можливим є розробка деякого оціночного критерію, який би кількісно визначав прийнятний рівень функціонування будівельної конструкції в розрізі її «живучості»;
- 4) трактування того, що порушення функціонування має носити тимчасовий характер. Тобто після усунення дії зовнішніх факторів, які викликали таке порушення, конструкція має повертатись в нормальний вихідний стан, для якого характерно знаходження всіх параметрів будівельної конструкції у визначених нормами межах. При цьому бажаним кількісним критерієм є час повернення конструкції в нормальний вихідний стан.

Зважимо, також, на те, що в деяких визначеннях терміну «живучість», які наводились при огляді та аналізі останніх досліджень і публікацій (розділ II) увага акцентується на забезпеченні роботоздатності будівельної конструкції. На наш погляд при цьому більш коректним буде казати про функціональність будівельної конструкції, оскільки це є більш комплексна характеристика. В свою чергу відповідно до ідеології чинної системи стандартів в будівництві України порушення функціональності пов'язане із порушенням нормативних

вимог в частинах об'ємно-планувального рішення або конструктивного рішення. Тому набуті будівельною конструкцією під впливом дії зовнішніх факторів зміни в структурі, складі або поведінці будівельної конструкції можуть ототожнюватись із порушенням функціонування конструкції. Це є найголовнішим узагальнюючим критерієм, на основі якого може бути надана його практична кількісна оцінка.

Тому, зважаючи на вищевикладене, визначення терміну «живучість» для будівельної конструкції може бути сформульовано наступним чином:

*Живучість – здатність будівельної конструкції зберігати функціональність під впливом зовнішніх факторів на протязі часу, необхідного для відновлення порушених показників до нормативного рівня.*

Стосовно кількісної оцінки збереження функціональності, то це питання потребує додаткової розробки для кожного виду будівельних конструкцій окремо. Так, наприклад, для сталевих бункерів, які є однією із пріоритетних тем наукових досліджень автора [5-7], пропонується наступний підхід, наведений в таблиці 1. Критерії представлені на основі статистичного аналізу пошкоджень бункерних конструкцій.

Таблиця 1 – Критерії оцінки порушення функціональності сталевих бункерних ємностей

| Критерій          | Критичне значення | Критерій             | Критичне значення |
|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Втрата міцності   | 10 %              | Розрив ребер         | 25 %              |
| Втрата стійкості  | 15 %              | Знос стінки          | 30 %              |
| Втрата жорсткості | 25 %              | Розрив опорних балок | 10 %              |

#### IV. ВИСНОВКИ

Запропонована термінологія поняття живучості будівельних конструкцій відрізняється більшою об'єктивністю та враховує такі аспекти, як дія сукупності зовнішніх факторів, що призводять до порушення функціональності конструкції та час на її відновлення. Це дозволяє розробити кількісні критерії для оцінки «живучості» конкретного виду будівельних конструкцій.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] А. П. Іванова, Живучість і руйнування багатоелементних конструкцій, *Техногенні катастрофи : моделі, прогноз, запобігання : 3-я міжнародна наук.-практ. конф.*, Дніпропетровськ, Україна, 22-24 травня 2013. С. 64-74.
- [2] ДБН В.1.2-14:2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України. 2009. 26 с.
- [3] ДБН В.1.2-14:2018 із Зміною № 1. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрозвитку громад та територій України. 2022. 35 с.
- [4] ДСТУ ISO 8930:2022 (ISO 8930:2021, IDT). Будівельні конструкції та будівництво. Загальні принципи надійності конструкцій. Терміни та визначення понять. Чинний від 2023-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДЦ». 2022. 43 с.
- [5] Bannikov D. O. Analysis of the causes of accidents of steel capacitive structures for bulk materials. *Metallurgical and Mining Industry*. 2011. Vol. 3, No. 5. pp. 243-249.
- [6] Bannikov D., Kazakevitch M. Design problems of steel bunkers. *Theoretical Foundations of Civil Engineering*. 2004. Warsaw : Warszawskiej Politechnik. Vol. II. pp. 559-564.
- [7] Bannikov D., Kazakevitch M. Features of failures of steel bunkers (of pyramidally-prismatic type). *Theoretical Foundations of Civil Engineering*. 2002. Warsaw : Warszawskiej Politechnik. Vol. II. pp. 650-657.

# Діаграма роботи під навантаженням сталевих нагелів для дерев'яних конструкцій

Дмитро Банніков, Леонід Ключко

*Український державний університет науки і технологій  
м. Дніпро, Україна*

## I. ВСТУП

Відповідно до чинного стандарту в галузі проектування дерев'яних будівельних конструкцій ДБН В.2.6-161:2017 [1] введено вдосконалену концепцію розрахунку нагельних з'єднань [2, 3]. Порівняно із попередньою редакцією норм така концепція передбачає більш диференційований підхід до врахування матеріалів елементів таких з'єднань, більший спектр самих нагельних елементів, а також значно більшу кількість можливих форм руйнування нагельних з'єднань. Також концепція включає уточнене врахування властивостей фізичних і механічних характеристик тих матеріалів, з яких виконано конструктивні елементи нагельних з'єднань. Серед таких характеристик до розрахункових виразів включено і границю текучості сталі для сталевих нагелів, таких як цвяхи, болти, гвинти або саморізи. Тому питання їх коректного визначення є доволі актуальним з точки зору проведення розрахунків за чинним стандартом ДБН В.2.6-161:2017 [1].

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останні експериментальні дослідження фахівців України в галузі проектування конструкцій з деревини спрямовані на визначення несучої здатності окремих конструктивних елементів [4-9] або фізико-механічних характеристик окремих видів конструкційної деревини [10-17]. Однак питання визначення механічних характеристик сталевих нагельних виробів у вітчизняній фаховій літературі не висвітлено. Це унеможливило проведення практичних розрахунків дерев'яних конструкцій із нагельними вузлами. Зважаючи на таку ситуацію, авторами було проведено лабораторне випробування сталевих нагельних елементів для визначення їх механічних характеристик. Тому метою даної публікації є виклад основних результатів цього дослідження в частині отриманих діаграм роботи під навантаженням сталевих нагелів. Відмітимо також, що при цьому використовувались напрацювання, представлені в роботах [18-20], які дозволили більш коректно та точно провести випробування.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В ході проведених лабораторних досліджень виконувались випробування на розтяг сталевих нагелів двох типів – цвяхів і саморізів. В кожному випадку розглядалися зразки двох діаметрів. Випробуванню підлягали по 5 зразків кожного типу. Використовувалась універсальна розривна машина УГ20/2, яка була спеціально попередньо відкалібрована. Отримані діаграми роботи під навантаженням в осях напруження-деформація для сталевих цвяхів і сталевих нагелів представлені на рис. 1. Напруження по вертикальній осі подано в МПа, а відносне видовження по горизонтальній осі подано у %.

Як видно, для цвяхів сталь за своїми властивостями більше наближується до вуглецевої, а для саморізів – до легованої. При цьому в обох випадках на діаграмі відсутні в явному вигляді ділянки текучості, проте чітко просліджується границя міцності.

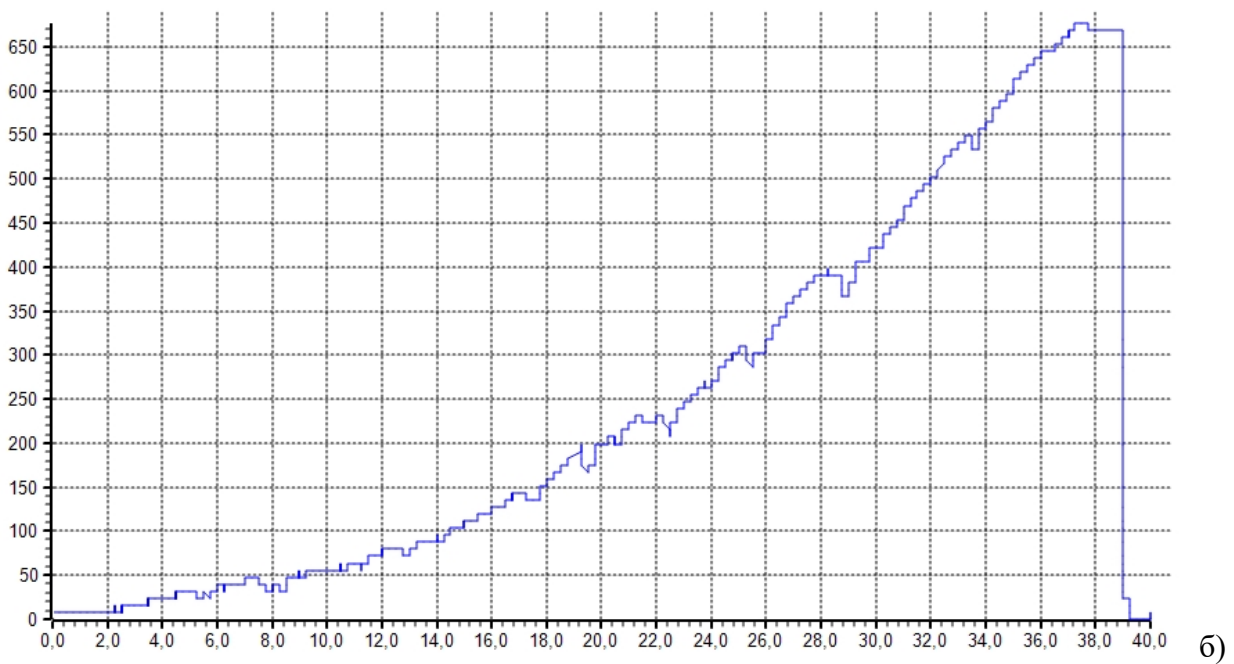
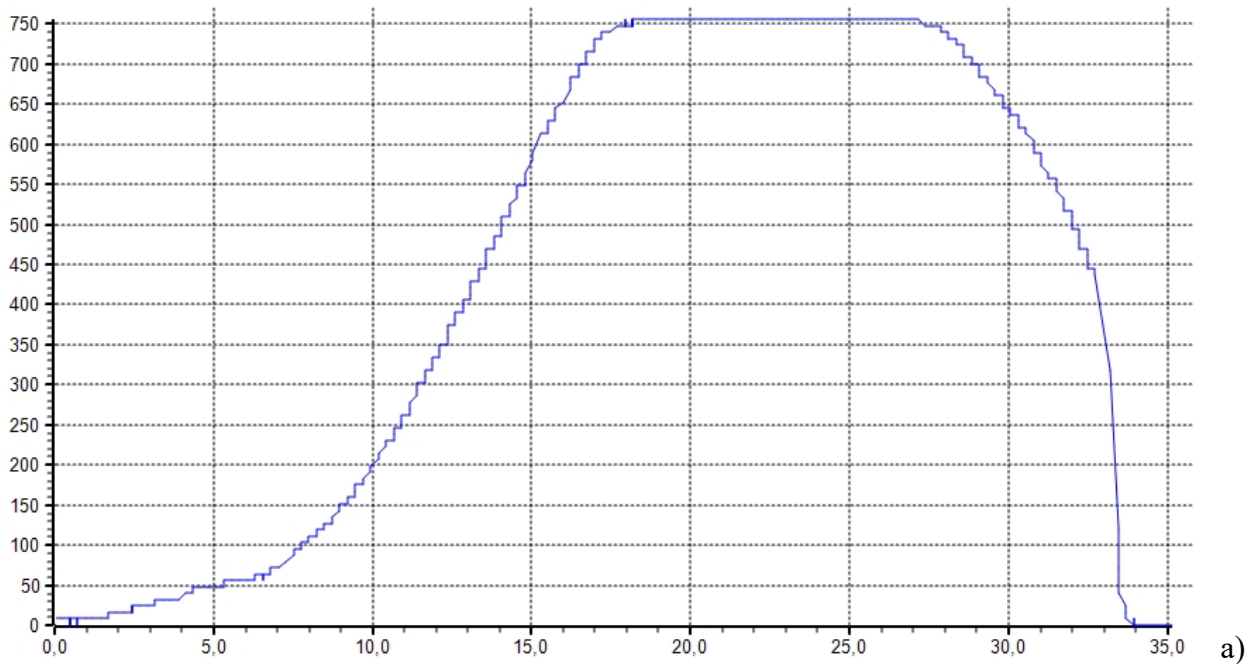


Рисунок 1 – Діаграма роботи під навантаженням:  
а) сталевих цвяхів; б) сталевих нагелів

#### IV. ВИСНОВКИ

Отримані під час лабораторних досліджень діаграми роботи сталевих цвяхів і сталевих нагелів, присутніх на сучасному ринку України, свідчать про доволі високий рівень міцності використаних сталей (до 750 МПа). При цьому відносне видовження сягає 40 %. Такі показники можуть бути використані під час проектно-конструкторських робіт, як усереднені показники, для оцінки несучої здатності з'єднань дерев'яних елементів на сталевих нагелях.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Чинний від 2018-02-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд та ЖКГ України. 2017. 111 с.
- [2] Vannikov D. O. Outlooks of using DBN V.2.6-161:2017 «Wooden Structures» in design practice. *Наука та прогрес транспорту*. 2019. Вип. 1 (79), с. 167-174.
- [3] Банніков Д. О. Особливості застосування ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції». *Матеріали 78 Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. 2018, с. 208-209.
- [4] Чичуліна К. В. Підготовка та проведення експериментальних випробувань армованих дерев'яних двотаврових балок. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2022. Т. 33 (72), № 5, с. 359-364.
- [5] Кислюк Д. Я., Чапюк О. С., Самчук В. П., Залета А. О., Савенко В. І. Дослідження роботи двотаврових дерев'яних балок із OSB стінкою. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2022. Вип. 17, с. 61-67.
- [6] Демчина Б., Сурмай М., Вознюк Л., Данкевич І., Шидловський Я. Випробування дерев'яних двотаврових балок каркасних будинків. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2020. Вип. 21, с. 41-46.
- [7] Михайловський Д., Комар М. Армування конструкцій з деревини композитними матеріалами, стан і перспективи. *Збірник наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика»*. (2021). Вип. 9, с. 72-80.
- [8] Dmytrenko, A. Dmytrenko, T., Derkach T., Klochko L.: Experimental investigation and computer-generated simulation of reinforced double-tee girders with a wall of oriented standard board. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7 (4.8), pp. 115-119.
- [9] Васильєв О. Ю. Довговічність плоских та просторових наскрізних дерев'яних конструкцій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.23.01. Харків, 2015. 23 с.
- [10] Гомон С. С., Гомон П. С. Побудова дійсних діаграм механічного стану деревини « $\sigma$ - $u$ » суцільного перерізу ялини та берези за жорсткого режиму випробувань. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2020. Вип 38, с. 321-330.
- [11] Ясній П. В., Гомон С. С. Експериментальні дослідження суцільної деревини конструкційних розмірів з врахуванням фактора вологості. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2020. Т. 28, № 1, с. 49-56.
- [12] Ясній П. В., Гомон С. С., Дмитрук В. П. Міцність та деформівність деревини модрина з різним показником вологості за жорсткого режиму випробувань. *Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of the 6th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua"*. 2020, pp. 319-322.
- [13] Шехоркіна С. Є., Махінько М. М., Мислицька А. О. Експериментальне дослідження фізико-механічних характеристик клеєної деревини. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2020, №. 79, pp. 53-62.
- [14] Гомон С. Методика досліджень основних механічних та деформативних властивостей суцільної та клеєної деревини. *Праці Міжнародної науково-технічної конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування»*. 2019, с. 198–200.
- [15] Гомон С. С., Гомон С. С., Зінчук А. В. Дослідження модифікованої силором клеєної деревини на стиск вздовж волокон. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. № 1, с. 134-138.
- [16] Новицький С. В. Деревинознавчі аспекти сухостійної деревини сосни звичайної. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 6, с. 109–112.
- [17] Гомон С. С., Гомон С. С., Сасовський Т. А. Діаграми механічного стану деревини сосни за одноразового короточасного деформування до повної втрати міцності матеріалу. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2012. Вип 23, с. 166-171.
- [18] Гезенцевей Ю. І., Банніков Д. О. Термозміцнені сталі підвищеної міцності для сталевих будівельних конструкцій. *Прогр. та тези доп. Міжнар. наук.-техн. форуму «Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика»*. 2022, с. 313-314.
- [19] Hezentsvei Y. I., Vannikov D. O. Use of fine-grained heat-strengthened steels to increase the operation qualities of bunker capacities from thin-walled galvanized profiles. *Наука та прогрес транспорту*. 2021. Вип. 1 (91), с. 84-93.
- [20] Гезенцевей Ю.І., Банніков Д. О. Дрібнозернисті термозміцнені сталі для будівельних конструкцій з тонкостінних оцинкованих профілів. *Тези V Міжнар. наук.-техн. конф. «Ефективні технології в будівництві»*. 2020, с. 76.

# Відшарування системи гнучких підсилень мостової конструкції за умов задачі термопружності

Андрій Кундрат

*Маріполь Мебле Польска, м. Кобильниця, Республіка Польща*

Микола Кундрат

*Національний університет водного господарства та природокористування  
м. Рівне, Україна*

## I. Вступ

Проблема розрахунку підсилюючих елементів як одного із поширених засобів ремонту та відновлення працездатності мостових конструкцій залишається актуальною задачею механіки деформівного твердого тіла. Використовувані для цього підкріплюючі елементи одночасно є й потужними концентраторами напружень і спричиняють нелінійні та пластичні деформації, що в значній мірі ускладнює розрахунок таких композицій. Для з'ясування їх граничного експлуатаційного навантаження необхідний поглиблений аналіз полів напружень і деформацій біля підкріплюючих елементів та пов'язана з цим побудова відповідних математичних моделей, які б описували такі поля безпосередньо перед руйнуванням. Проте використання досить сильно ідеалізованої схеми механічного контакту зазвичай не враховувало реально спостережуваних можливостей виникнення в області країв підкріплень зон ослабленого контакту.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження та огляд контактної задачі Мелана для пружного тіла подано у широкому колі праць: монографіях М.І. Мухелішвілі [1], А.І. Каландії [2], Е.І. Григолюка, В.М. Толкачова [3], Г.Я. Попова [4], В.М. Александрова, С. М. Мхітаряна [5], Г.Т. Сулима [6] та ін. Задача для періодичної системи накладок сформульована та розв'язана у праці Н.Х. Арутюнана, С.М. Мхітаряна [7], а Г.А. Морарь, Г.Я. Попов [8] для розв'язання інтегрального рівняння [7] застосували метод ортогональних многочленів. Запропоновані в цих працях підходи справили великий вплив на розвиток механіки контактної взаємодії, але використані математичні постановки задач не враховують можливості виникнення в областях країв підсилень часто спостережуваних зон ослабленого контакту з пластиною чи можливого розриву самого підкріплення з утворенням більшої кількості таких зон. Розрахункова модель для аналізу граничної рівноваги в півплощині з однією гнучкою накладкою запропонована в працях [9, 10]. Постановка задачі дала можливість отримати механічно коректні обмежені напруження у всіх точках композиції. У цій статті підхід поширено на періодичні системи підсилень, жорсткість яких більша від жорсткості півплощини. Аналізу особливостей відшарування високомодульних підсилень стосуються праці [11–14].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В умовах плоскої задачі теорії термопружності розглядаємо півбезмежну пластину, що розтягується на нескінченності зусиллями інтенсивності  $\sigma_{xx}^{\infty} = q$  паралельно до її краю

(рис. 1). Пластина підкріплена періодичною системою нагрітих до температури  $T_1$  гнучких скінченної міцності на розрив  $P_{ut}$  підсилень завдовжки  $2a$ . Тепловий контакт між підсиленнями та пластиною ідеальний, а температура вільного краю пластини дорівнює  $T_0$ .

Найбільша концентрація напружень виникає в околах кінців підсилень, де насамперед і слід чекати появи зон передруйнування. Останнім можуть відповідати області накопичення пошкоджень, пластичного деформування (проковзування), часткового розриву зв'язку між пластиною й підсиленням та інше. При таких допущеннях знайдемо величину і характер розподілу контактних напружень під підсиленнями та осевих розривних зусиль безпосередньо у підсиленнях, довжину зон передруйнування, розміщення яких задаємо з фізичних міркувань.

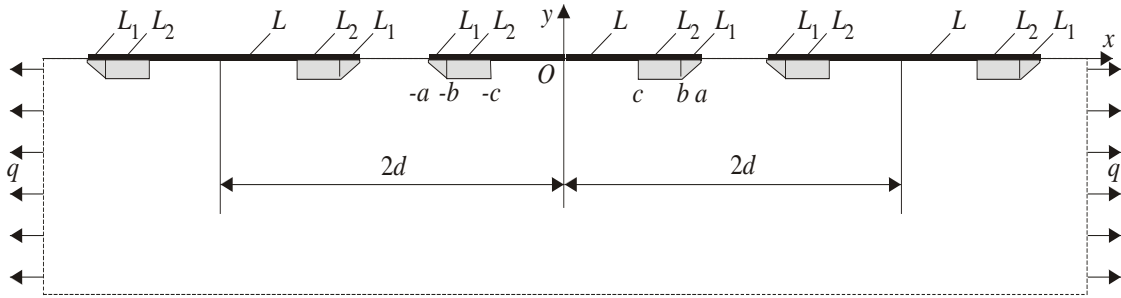


Рис. 1. Схема задачі

Аналіз плоского напруженого стану за суто пружним розв'язком [1] показує, що максимальні дотичні напруження  $\tau_{\max}$  мають місце уздовж межі між пластиною й підсиленням в околах кінців. Приймаємо, що саме тут і зароджуються зони передруйнування, просуваючись від кожного краю до центральної частини і складаються з двох ділянок: зони розпушення  $b < |x - 2nd| < a$  ( $x \in L_1$ ) та зони пластичного деформування  $c < |x - 2nd| < b$  ( $x \in L_2$ ),  $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ . У зонах передруйнування виконуються такі крайові умови: на ділянках розпушення (ослабленого контакту) дотичні напруження лінійно зростають від нуля до свого граничного значення –

$$\sigma_{xy}(x) = \tau_s^* \frac{a - |x - 2nd|}{a - b} \text{sign}(x - 2nd), \quad (x \in L_1), \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots; \quad (1)$$

на ділянках пластичного деформування –

$$\sigma_{xy}(x) = \tau_s^* \text{sign}(x - 2nd), \quad (x \in L_2), \quad (2)$$

де  $\tau_s^*$  – зсувна межа міцності контактної межі, а при пластичному деформуванні – її зсувний поріг пластичності;

На відрізках  $|x - 2nd| < c$  пружного деформування зберігається ідеальний контакт і тому деформації

$$\partial u(x)/\partial x = T_1 \alpha_p, \quad (x \in L), \quad (3)$$

де  $\alpha_p$  — температурний коефіцієнт лінійного видовження матеріалу підсилення.

Напруження на нескінченності

$$\sigma_{xx}^\infty = q, \quad \sigma_{yy}^\infty = \sigma_{xy}^\infty = 0 \quad \text{при} \quad (x^2 + y^2)^{1/2} \rightarrow \infty. \quad (4)$$

Для розв'язування задачі використаємо відомі [1, 6] подання для напружень і деформацій через комплексні потенціали Колосова-Мусхелішвілі

$$\sigma_{xx} + \sigma_{yy} = 4 \text{Re} \Phi(z), \quad \sigma_{yy} - i\sigma_{xy} = \Phi(z) - \Phi(\bar{z}) + (z - \bar{z})\overline{\Phi'(z)}, \quad (5)$$

$$2G \partial(u + iv)/\partial x = \kappa \Phi(z) + \Phi(\bar{z}) - (z - \bar{z})\overline{\Phi'(z)} + \beta \Psi_0(z), \quad (6)$$

де  $z = x + iy$ ;  $\kappa = (3 - \mu)/(1 + \mu)$ ,  $\beta = 4G\alpha_0$  для плоского напруженого стану;  $\kappa = 3 - 4\mu$ ,

$\beta = 4G(1 + \mu)\alpha_0$  в умовах плоскої деформації;  $\alpha_0, G, \mu$  – температурний коефіцієнт лінійного розширення, модуль зсуву та коефіцієнт Пуассона матеріалу пластини.

З фізичних міркувань повинні також виконуватися умови загальної рівноваги кожного з підсилень

$$\int_{-c}^c \sigma_{xy}(t) dt = 0. \quad (7)$$

Функцію  $\Phi(z)$  знайдемо після підставлення формул (5), (6) у крайові умови (1)–(3). Тоді загальним розв’язком крайової задачі з урахуванням умов (4), (7) буде функція напружень

$$\Phi(z) = \frac{f_3(z)}{2} + \frac{B_4(z, a, b, c, d) \sin(\omega z)}{X(z)} + \frac{\tau_s^*}{2\pi} f_6(z, a, b, c, d), \quad (8)$$

де

$$B_4(z, a, b, c, d) = q/4 - (1/2)f_3(z) - (\tau_s^*/\pi)f_5(a, b, c, d),$$

$$f_5(a, b, c, d) = X_1(a, b, d) \times \left[ \begin{aligned} & X(b) - X(a) - \sin(\omega b) \ln((\sin(\omega b) + X(b))/\sin(\omega a)) + \\ & + \sin(\omega a) \ln((\sin(\omega a) + X(a))/\sin(\omega c)) \end{aligned} \right],$$

$$f_6(z, a, b, c, d) = X_1(a, b, d) \times \left[ \begin{aligned} & \sin(\omega b) \Gamma_1(z, b, c, d) - \sin(\omega a) \Gamma_1(z, a, c, d) + \\ & + \sin(\omega z) [\Gamma_2(z, a, c, d) - \Gamma_2(z, b, c, d)] \end{aligned} \right],$$

$$X(z) = \sqrt{\sin(\omega(z-c))\sin(\omega(z+c))}, \quad X_1(a, b, d) = \left[ \sin \frac{\omega(a-b)}{2} \sin \frac{\omega(a+b)}{2} \right]^{-1},$$

$$\Gamma_1(z, t, c, d) = \ln(\zeta^- / \zeta^+), \quad \zeta^\pm = X(z) \sin(\omega t) \pm X(t) \sin(\omega z),$$

$$\Gamma_2(z, t, c, d) = \ln(\xi^- / \xi^+), \quad \xi^\pm = X(t) \pm X(z), \quad t = \{a, b\},$$

$$f_3(x) = 2[G\alpha_p T_1 - \beta \operatorname{Re} \Psi_0^+(x - 2nd)], \quad \Psi_0(x) = \frac{1}{2} T_0 + \frac{T_1 - T_0}{2\pi i} \ln \frac{\sin(\omega(x+a))}{\sin(\omega(x-a))}, \quad \omega = \frac{\pi}{2d}.$$

Формули (5), (6), (8) цілком описують поля напружень та деформацій у тілі з підсиленнями і дають можливість дослідити умови його локального руйнування.

На рис. 2 відображено залежність відносної довжини зон передруйнування  $\varepsilon \equiv (a-c)/a$  від параметра навантаження  $q/(2\tau_s^*)$  при фіксованій відстані між підсиленнями  $\lambda \equiv a/d = 0,5$ . Номери біля ліній відповідають різним довжинам ділянки розпушення  $\gamma \equiv (a-b)/a$ , яка може вважатися залежним від структури матеріалів додатковим механічним параметром контактної взаємодії пари пластина-підсилення: 1 –  $\gamma = 10^{-10}$  (зона розпушення практично відсутня); 2 –  $\gamma = 0,05$ ; 3 – 0,1; 4 – 0,15; 5 – 0,2. Збільшення ділянки розпушення за фіксованого рівня навантаження загалом видовжує зону передруйнування, хоча область пластичності при цьому зменшується. Її вплив на загальний розмір зони передруйнування із зростанням останньої також зменшується.

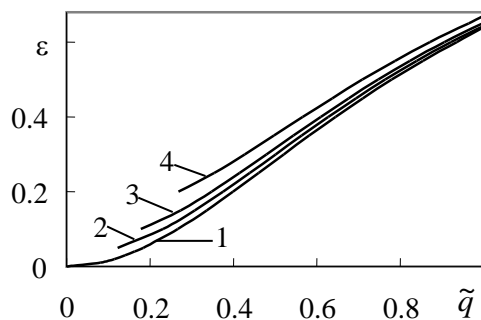


Рис. 2. Довжина зон передруйнування ( $\lambda = 0,5$ )

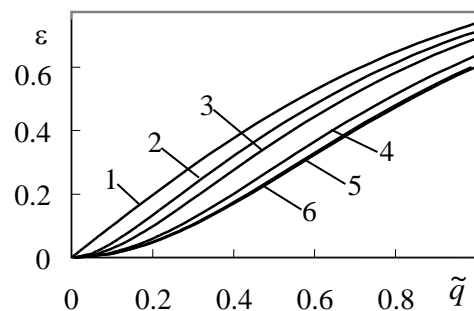


Рис. 3. Довжина зон передруйнування ( $\gamma = 10^{-6}$ )

На рис. 3 подано ту ж довжину зон уже при фіксованій ділянці розпушення  $\gamma = 10^{-10}$ . Номери біля ліній відповідають різним відстаням між підсиленнями  $\lambda \equiv a/d$ : 1 –  $\lambda = 1$ ; 2 –  $\lambda = 0,9$ ; 3 – 0,8; 4 – 0,5; 5 – 0,2. 6 – 0,01. Помітно, що збільшення відстані між підсиленнями при фіксованому навантаженні скорочує довжину зони передруйнування і при  $\lambda = 0,2$  та  $\lambda = 0,01$  їх значення практично збігаються (лінії 5, 6).

За умови  $\lambda = 1$  (підсилення співдотикаються) результати можуть бути орієнтиром для ситуації після розриву як завгодно довгого підсилення на частини завдовжки  $2a = 2d$ . При  $\tilde{q} < 0,5$  для дуже зближених підсилень залежність між довжиною зон та навантаженням практично лінійна (лінія 1).

#### IV. ВИСНОВКИ

Запроваджено двофазну зону передруйнування (ослабленого контакту) у пластині з системою нерозтягливих гнучких підсилень, що дало можливість уникнути сингулярності напружень в околах їх країв та отримати механічно коректні обмежені напруження в усіх точках композиції.

За одночасної дії температурного та силового навантажень залежно від фізико-механічних характеристик композиції можливий як їх взаємно підсилювальний так і послаблюючий вплив на розвиток зон передруйнування. Якщо задана температура підсилення, то завжди можна так підібрати силове навантаження, що розвиток зон передруйнування не відбуватиметься. І навпаки, задаючи відповідним чином температуру підсилення, також можна уникнути виникнення цих зон.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
- [2] Каландия А.И. Математические методы двумерной теории упругости. – М.: Наука, 1973. – 303 с.
- [3] Григолюк Э.И., Толкачев В.М. Контактные задачи теории пластин и оболочек. – М.: Машиностроение, 1980. – 411 с.
- [4] Попов Г.Я. Концентрация упругих напряжений возле штампов, разрезов, тонких включений и подкреплений. – М.: Наука, 1982. – 344 с.
- [5] Александров В.М., Мхитарян С.М. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками. – М.: Наука, 1983. – 488 с.
- [6] Сулим Г.Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими включеннями. – Львів: Дослідно-видавничий центр НТШ, 2007. – 716 с.
- [7] Арутюнян Н.Х., Мхитарян С.М. Периодическая контактная задача для полуплоскости с упругими накладками // Прикладная математика и механика. – 1969. – Т. 33, №5. – С. 813-843.
- [8] Морарь Г.А., Попов Г.Я. К периодической контактной задаче для полуплоскости с упругими накладками // Прикладная математика и механика. – 1971. – Т. 35, №1. – С. 172-178.
- [9] Кундрат М.М. Гранична рівновага та локальне руйнування пластини з накладкою // Вісник Рівненського держ. техн. ун-ту. – Рівне: Видавн. Рівненського держ. техн. ун-ту, 1999. – С. 200-204.
- [10] Кундрат А.М. Руйнування в з'єднанні двох накладок // Вісник Рівненського держ. техн. ун-ту. – Рівне: Видавн. Рівненського держ. техн. ун-ту, 2001. – Вип. 3(10). – С. 205-210.
- [11] Шацький І.П., Кундрат А.М. Антиплоска деформація пружного простору зі зв'язаними жорсткими стрічковими включеннями // Доп. НАН України. – 2004. – № 11. – С. 55-60.
- [12] Kundrat M.M. Working length of a high-modulus linear inclusion under the action of concentrated cyclic forces within the framework of plane problem // Materials Science. – 2016. – V. 52, № 1. – P. 72-82.
- [13] Кундрат М.М. Гранична рівновага тіла з підкріплювальними елементами за сталого й циклічного навантаження. – Київ: Каравела, 2021. – 124 с.
- [14] Kundrat M.M. Delamination of an element of reinforcement of the half plane under cyclic loading // Materials Science. – 2022. – 57, № 5. – P. 745-749.

# Відшарування гнучкого підсилення елемента мостової конструкції за неперервного

## навантаження

Микола Кундрат

*Національний університет водного господарства та природокористування  
м. Рівне, Україна*

### I. ВСТУП

Підсилення мостових конструкцій необхідне у випадках тривалої експлуатації без сучасного технічного обслуговування та капітальних ремонтів, коли присутні помилки проектування, виготовлення або виконання будівельних робіт, недостатньої міцності матеріалів конструкцій, а також зміни погодних умов та діючих нормативних документів в Україні [1]. Задача розрахунку підсилюючих елементів як одного із поширених засобів ремонту та відновлення працездатності інженерних конструкцій, зважаючи на те, що велика кількість матеріаломістких мостових споруд України близька до вичерпання свого проектного ресурсу, залишається на часі.

### II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Використовувані підкріплюючі елементи одночасно є й потужними концентраторами напружень і спричиняють нелінійні та пластичні деформації, що в значній мірі ускладнює розрахунок напружено-деформованого стану та умов граничної рівноваги мостової системи в цілому. Внаслідок неоднорідності напруженого стану біля підсилень слід очікувати [2] порушення адгезійних зв'язків, розпушення, нелінійного деформування. Вплив малих зон пластичності матеріалу в околі країв підсилення на розподіл контактних напружень досліджував Ю.І. Кудишин [3], використовуючи ітераційний метод пружних розв'язків О.І. Ільюшина. У такій постановці отримані більш прийнятні обмежені напруження в околах країв підсилювального ребра, причому найбільших значень розрахункові пластичні деформації досягалися біля його кінців. Для числового прикладу взято м'яку сталь типу Ст. 3 із необмеженою по деформаціях площадкою текучості.

Аналізу особливостей відшарування високомодульного підсилення стосуються праці [4–6]. Нижче з використанням ідеї праці [7] отримано аналітичний розв'язок модельної задачі відшарування гнучкого підсилення при навантаженні неперервними напруженнями. Розв'язок задачі зведено до задачі Коші для диференціального рівняння першого порядку для заданої функції від параметрів навантаження та пружних і міцнісних характеристик системи.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

За умов плоскої задачі теорії пружності розглядаємо півбезмежну пластину, навантажену зусиллями інтенсивності  $q$  направленими паралельно до її краю (рис. 1),  $0 \leq q$ . Вільна поверхня пластини підкріплена гнучким нерозтягливим підсиленням завдовжки  $2a$ . Осі декартової системи координат  $xOy$  збігаються з осями геометричної симетрії композиції. Вважаємо, що в околах кінців підсилення буде ковзне відшарування (втрата зв'язку), яке просуватиметься вздовж межі поділу матеріалів від кожного краю до центральної частини. Довжину підсилення без відшарованих на кінцях фрагментів позначаємо через  $2a_{wr}$  і називаємо його робочою довжиною (рис. 1). Коефіцієнт тертя на відшарованій частині  $L_2 \approx a_{wr} < |x| \leq a$

приймаємо рівним нулю. Відшаруванню передують розвиток локалізованих зон передруйнування, які моделюємо додатковими розрізами  $L_1 \approx c_{wr} \leq |x| < a_{wr}$  з дотичними напруженнями  $\tau_s^*$  на кромках.

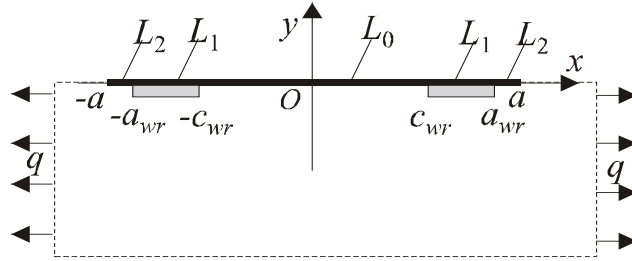


Рис. 1. Схема відшарування підсилюючого елемента

З просуванням ділянки розшарування рухається також і зона передруйнування. Величину  $\tau_s^*$  вважаємо усередненим значенням напружень в зоні передруйнування. На ділянці  $|x| \leq c_{wr}$  зберігається ідеальний контакт, тому поздовжні деформації на ній рівні нулю:

$$\partial u(x)/\partial x = 0 \quad (x \in L_0).$$

Для побудови рівняння відшарування використаємо енергетичний підхід, який передбачає існування критичного значення енергії  $\gamma_\tau^*$ , необхідної для того, щоб робоча довжина підсилення зменшилася на одиницю довжини, яку вважаємо відомою характеристикою. З іншої сторони, при зменшенні робочої довжини підсилення на величину  $\Delta a_{wr}$  напруження виконують роботу  $\gamma_\tau^* = \tau_s^* \delta_{2cf}$ , де  $\delta_{2cf}$  – критичний зсув у зоні передруйнування. Приймаємо, що робоча довжина  $a_{wr}$  і розмір зони передруйнування  $d_f = a_{wr} - c_{wr}$  – функції від навантаження  $q$ . Тоді при збільшенні навантаження на малу величину  $\Delta q$  і просування області відшарування на  $\Delta a_{wr}$  дисипація енергії

$$W_f = 2 \int_{a_{wr} - \Delta a_{wr}}^{a_{wr} - d_f - \Delta a_{wr}} \sigma_{xy}(x) [u(x, a_{wr}(q + \Delta q), c_{wr}(q + \Delta q)) - u(x, a_{wr}(q), c_{wr}(q))] dx,$$

де  $W_f = \eta_1 \gamma_\tau^* \Delta a_{wr}$ ,  $\eta_1$  – поправковий коефіцієнт. Нехтуючи доданками порядку  $(\Delta a_{wr})^2$ , звідси знаходимо, що

$$\gamma_\tau^* \eta_1 = -2\tau_s^* \frac{d}{da_{wr}} \int_{a_{wr} - d_f}^{a_{wr}} x \frac{\partial u(x, a_{wr}, q)}{\partial x} dx - 2\tau_s^* \frac{du(a_{wr}, a_{wr}, q)}{da_{wr}}. \quad (1)$$

Для визначення виразів для переміщень та їх похідних використаємо розв'язок відповідної задачі за сталого навантаження  $\sigma_{xx}^\infty = q$  [8–11]. Тоді в зонах передруйнування

$$u(x) = \frac{(\kappa + 1)\tau_s^*}{4\pi G} [a_{wr}\Gamma_2(x, a_{wr}, c_{wr}) - x\Gamma_1(x, a_{wr}, c_{wr})], \quad (x \in L_1), \quad (2)$$

$$\Gamma_1(x, a_{wr}, c_{wr}) = [\zeta^-(x)/\zeta^+(x)], \quad \zeta^\pm(x) = a_{wr}\sqrt{x^2 - c_{wr}^2} \pm x\sqrt{a_{wr}^2 - c_{wr}^2},$$

$$\Gamma_2(x, a_{wr}, c_{wr}) = \ln[\eta^-(x)/\eta^+(x)], \quad \eta^\pm(x) = \sqrt{a_{wr}^2 - c_{wr}^2} \pm \sqrt{x^2 - c_{wr}^2};$$

$\kappa = (3 - \nu)/(1 + \nu)$  – для плоского напруженого стану,  $\kappa = 3 - 4\nu$  – в умовах плоскої деформації;  $G$ ,  $\nu$  – модуль зсуву та коефіцієнт Пуассона. При цьому зв'язок між силовими та геометричними параметрами

$$c_{wr} = a_{wr}/\text{ch}H, \quad H = \pi q/4\tau_s^*. \quad (3)$$

З урахуванням результатів (2), (3)

$$\frac{\partial u(x)}{\partial x} = \frac{(\kappa+1)\tau_s^*}{4\pi G} \ln \frac{a_{wr} \sqrt{x^2 - c_{wr}^2} + x \sqrt{a_{wr}^2 - c_{wr}^2}}{a_{wr} \sqrt{x^2 - c_{wr}^2} - x \sqrt{a_{wr}^2 - c_{wr}^2}}, \quad x \in L_1,$$

$$\int_{a_{wr-d}}^{a_{wr}} x \frac{\partial u(x)}{\partial x} dx = -\frac{(\kappa+1)\tau_s^* H}{4\pi G} a_{wr}^2 \operatorname{th} H, \quad u(a_{wr}) = \frac{(\kappa+1)\tau_s^* a_{wr}}{2\pi G} \ln(\operatorname{ch} H).$$

Після диференціювання по параметру робочої довжини  $a_{wr}$

$$\frac{\partial u(a_{wr})}{\partial a_{wr}} = \frac{(\kappa+1)\tau_s^*}{2\pi G} \left( \ln(\operatorname{ch} H) + a_{wr} \operatorname{th} H \frac{dH}{da_{wr}} \right). \quad (4)$$

З урахуванням результатів (2)–(4) формула (1) набуває вигляду

$$\gamma_\tau^* = \frac{(\kappa+1)\tau_s^* a_{wr}^2}{4\pi G \eta_1} \left[ 2(H \cdot \operatorname{th} H - \ln(\operatorname{ch} H)) + a_{wr} \left( \frac{H}{\operatorname{ch}^2 H} - \operatorname{th} H \right) \frac{dH}{da_{wr}} \right]. \quad (5)$$

Для числового аналізу зручно ввести безрозмірну робочу довжину підсилення:

$$\lambda_{wr} = 4\eta_1 \tau_s^* a_{wr} / \pi E \gamma_\tau^*, \quad E = 2(1+\nu)G.$$

Шукану залежність між знерозміреними навантаженням  $H$  та довжиною  $\lambda_{wr}$ , враховуючи результати (3)–(6), подамо у вигляді диференціального рівняння першого порядку

$$\frac{d\lambda_{wr}}{dH} = \frac{1}{2} f(H, \lambda_{wr}), \quad (6)$$

$$\text{де } f(H, \lambda_{wr}) = \frac{1 + \lambda_{wr} (\ln(\operatorname{ch} H) - H \operatorname{th} H)}{\lambda_{wr}^2 (H / \operatorname{ch}^2 H - \operatorname{th} H)}.$$

При розв'язуванні конкретної задачі його необхідно доповнювати початковою умовою, яка задає навантаження при відомій початковій робочій довжині підсилення

$$\lambda_{wr}(H = H_0) = \lambda_0, \quad (7)$$

де  $\lambda_0$  – робоча довжина підсилення за фіксованого навантаження  $H = H_0$ . Таким чином, розв'язок задачі приведено до задачі Коші (6), (7) для диференційного рівняння першого порядку стосовно робочої довжини підсилення.

Наближені значення  $\lambda_{wr}^{(i)}(H^{(i)})$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$  шуканої функції  $\lambda_{wr}(H)$  визначаємо послідовно за формулами Рунге-Кутта [12]

$$\lambda_{wr}^{(i+1)} = \lambda_{wr}^{(i)} + \Delta \lambda_{wr}^{(i)}, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

$$\text{де } \Delta \lambda_{wr}^{(i)} = \frac{1}{6} (T1^{(i)} + 2 \cdot T2^{(i)} + 2 \cdot T3^{(i)} + T4^{(i)}),$$

$$T1^{(i)} = \Delta H \cdot f(H^{(i)}, \lambda_{wr}^{(i)}), \quad T2^{(i)} = \Delta H \cdot f\left(H^{(i)} + \frac{\Delta H}{2}, \lambda_{wr}^{(i)} + \frac{T1^{(i)}}{2}\right),$$

$$T3^{(i)} = \Delta H \cdot f\left(H^{(i)} + \frac{\Delta H}{2}, \lambda_{wr}^{(i)} + \frac{T2^{(i)}}{2}\right), \quad T4^{(i)} = \Delta H \cdot f(H^{(i)} + \Delta H, \lambda_{wr}^{(i)} + T3^{(i)}).$$

На рис. 2 подано інтегральні криві при неперервному навантаженні, отримані з числового розв'язку задачі Коші (6), (7) методом Рунге-Кутта за різних початкових робочих довжин підсилення  $\lambda_0 = 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0$  та фіксованому  $H_0 = 0$ . Відповідну лінію вибираємо за її значенням на осі  $\lambda_{wr}$ , при цьому пружні та міцнісні параметри композиції враховані через змінні  $\lambda_{wr}$  та  $H$ . Значення на осі абсцис ( $H_0 = 0$ ) відповідають початковій безрозмірній довжині підсилення за відсутності навантаження. Із зростанням навантаження робоча довжина зменшується, наприклад, підсилення довжиною  $\lambda_0 = 0,25$  за навантаження  $H = 0,7$  до  $\lambda_{wr} = 0,249$ , тобто на 0,4% від початкової; підсилення робочої довжини  $\lambda_0 = 0,5$  до  $\lambda_{wr} = 0,4958$ , тобто на 0,84%; підсилення  $\lambda_0 = 1,5$  до  $\lambda_{wr} = 1,4568$ , тобто на 2,88% за того ж

рівня навантаження. Чим менша робоча довжина підсилення, тим більше навантаження необхідно для її відшарування.

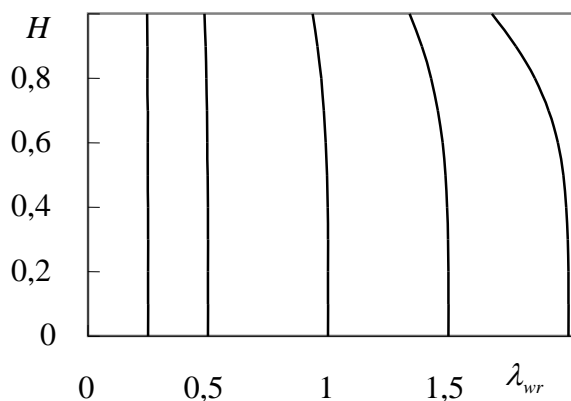


Рис. 2. Робоча довжина підсилення за неперервного навантаження

Зі зменшенням початкової  $\lambda_0$  робочої довжини підсилення швидкість його відшарування також зменшується (рис. 2). При цьому повного відшарування не відбувається, за умов задачі підсилення в середній частині залишається зв'язаним з основою. Швидкість відшарування істотно залежить від максимального навантаження.

#### IV. ВИСНОВКИ

Розвинута математична модель відшарування гнучкого нерозтягливого елемента підсилення мостової конструкції від основного матеріалу. Для заданого навантаження за формулою (6) завжди можна підібрати довжину підсилюючого елемента таким чином, щоб його відшарування не перевищувало заданого наперед значення (чи не відбувалося зовсім). Швидкість відшарування істотно залежить від початкової робочої довжини підсилення (для довшої вона більша) та максимального навантаження. Підсилюючий елемент в середній частині за умов задачі залишається зв'язаним з основою.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Молодід О.С., Руднєва І.М., Богдан С.М. Експериментальне дослідження підсилення металевих конструкцій зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних композитних вуглецевих матеріалів (FRP) // Дороги і мости. – 2021. – Вип. 24. – С. 84–96.
- [2] Сулим Г.Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими включеннями. – Львів: ДВЦ НТШ, 2007. – 716 с.
- [3] Кудишин Ю.И. Контактная задача о подкреплении бесконечной плоскости стрингером с учетом пластических свойств материала // Известия АН СССР. Механика твердого тела. – 1981. – № 4. – С. 83–92.
- [4] Шацкий И.П. Отслоение разрушенного стрингера от плоско напряженной пластины // Теорет. и прикл. механика. – 2001. – Вып. 34. – С. 83–88.
- [5] Shatskyi I.P., Kundrat A.M. Longitudinal shear of a body with mutually immobile rigid collinear inclusions // Materials Science. – 2004. – **40**, № 3. – P. 55–59. **7**.
- [6] Кундрат М.М. Гранична рівновага тіла з підкріплювальними елементами за сталого й циклічного навантажень. – Київ: Каравела, 2021. – 124 с.
- [7] Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
- [8] Колосов Г.В. Применение комплексной переменной к теории упругости. – М.-Л.: ОНТИ, 1935. – 224 с.
- [9] Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
- [10] Kundrat M.M. Working length of a high-modulus linear inclusion under the action of concentrated cyclic forces within the framework of plane problem // Materials Science. – 2016. – V. 52, № 1. – P. 72–82.
- [11] Kundrat M.M. Delamination of an element of reinforcement of the half plane under cyclic loading // Materials Science. – 2022. – **57**, № 5. – P. 745–749.
- [12] Копченкова Н.В., Марон И.А. Вычислительная математика. – М.: Наука. – 1972. – 367 с.

# Дослідження теплообміну в системах вентиляції: нові підходи до зменшення тепловтрат

Дар'я Вакуленко, Віктор Мілейковський

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
м. Київ, Україна*

## I. ВСТУП

Оптимізація технічних характеристик експериментальних установок вимагає зниження експериментальної похибки, а також збільшення точності вимірювань, що є критичним у багатьох дослідницьких проєктах. З теплотехнічної точки зору витрату повітря вживають масову, а лічильники визначають лише об'єм повітря, що крізь них проходить. Лічильники з корекцією температури підвищують вартість експериментальної установки. При розміщенні датчика температури на відстані від лічильника об'ємної витрати виникає проблема якісної теплоізоляції, щоб тепловтрати не вплинули на густину повітря в лічильнику. Використання теплоізоляційних матеріалів спрямоване на зменшення втрат тепла, що є критичним для підвищення енергоефективності у різних галузях науки і техніки [1-4]. Також точність дослідження теплопередачі в трубках, порожнинах і каналах залежить від тепловтрат до довкілля. Тому для підвищення точності досліджень необхідно суттєво нарощувати теплоізоляцію.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Згідно з чинним законодавством енергоефективність будівель має бути не нижче за клас «С» [5]. Використання системи вентиляції з утилізацією теплоти дозволяє досягнути необхідного рівня енергетичної ефективності будівлі. Компактним рішенням з мінімальним втручанням в інтер'єр будівлі є використання децентралізованих вентиляційних установок типу *Blauberg Vento / Vents TwinFresh*. Має місце задача збільшення їх ефективності роботи, що передбачає проведення досліджень пов'язаних з процесами тепловіддачі у їхніх тонких каналах. У попередніх роботах [6, 7] проводилися теоретичні дослідження визначення ефективності роботи установок *Vents TwinFresh* різної конструкції. Через суперечності в різних джерелах щодо коефіцієнта тепловіддачі в даному діапазоні чисел Грасгофа і Рейнольдса, постало питання експериментального визначення фактичного значення коефіцієнта тепловіддачі. Для цього розробляється експериментальна установка, що потребує коректного визначення доцільного значення товщини теплової ізоляції для мінімізації похибки вимірювань теплофізичних величин.

У літературі з теплообміну існує концепція критичного діаметра теплової ізоляції, який визначає максимально можливий розмір ізоляційного шару на круглому тілі. Згідно з даною концепцією, збільшення товщини ізоляції понад значення критичного рівня може призвести до зменшення її ефективності через збільшення теплообміну на більш розвиненій зовнішній поверхні. А коефіцієнт тепловіддачі для зовнішньої поверхні приймається постійним.

У попередніх дослідженнях було спростовано теорію критичного діаметра теплової ізоляції [8] для круглих горизонтальних циліндрів з урахуванням змінного коефіцієнта

тепловіддачі. Також визначено доцільний діаметр теплової ізоляції експериментального дослідного стенду [9]. Постає задача аналізу теплоізоляції вертикального циліндра

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У цьому дослідженні розглядається ламінарний конвективний потік навколо зовнішньої вертикальної циліндричної ізоляційної поверхні. З урахуванням числа Грасгофа [10] на зовнішній поверхні, проведено оцінку середнього коефіцієнта тепловіддачі. Для цього визначено безрозмірний опір теплопередачі  $R_l$  з урахуванням залежності [10]:

$$\begin{aligned} Nu_h &= 0.67 \cdot Pr_{ext}^{0,25} \cdot Gr_h^{0,25} = \\ &= 0.67 \cdot Pr_{ext}^{0,25} \cdot \left[ \frac{g}{T_{ext}} \cdot \frac{h^3}{\nu^2 \cdot (T_{surf} - T_{ext})} \right]^{0,25}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $Pr_{ext}$  – число Прандтля ззовні;  $Gr_h$  – число Грасгофа (вираз у квадратних дужках);  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $T_{surf}$  і  $T_{ext}$  – температури зовнішньої поверхні та зовнішнього повітря відповідно, К;  $h$  – висота, м. Опір теплопередачі циліндричної теплоізоляції

$$R_l = R_{l0} + \frac{\ln(d/d_0)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ins}} + \frac{1}{\pi \cdot d \cdot \alpha}, \quad (2)$$

де  $R_{l0}$  – лінійний опір теплопередачі під теплоізоляцією, м·К/Вт;  $d$  та  $d_0$  – зовнішній та внутрішній діаметр теплоізоляції, м,  $\lambda_{ins}$  – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції Вт/(м·К). За формулами (1) і (2) маємо в безрозмірному вигляді

$$\tilde{R}_\ell = \tilde{R}_{\ell 0} + \frac{\ln \tilde{d}}{2 \cdot \pi} + \frac{1}{0.67 \cdot \pi \cdot (\tilde{B} \cdot \Delta \tilde{T}_{surf})^{0,25}}, \quad (3)$$

де  $\tilde{B} = Pr_{ext} \cdot (g \cdot h^3 / \nu^2) \cdot (\lambda_{air} / \lambda_{ins})^4$ ,  $\tilde{R}_\ell = R_\ell \cdot \lambda_{ins}$  – суворо позитивні безрозмірні параметри;  $\tilde{R}_{\ell 0} = R_{\ell 0} \cdot \lambda_{ins}$  – безрозмірний параметр, що характеризує термічний опір усіх шарів під теплоізоляцією, включаючи внутрішній теплообмін, якщо циліндр є трубою з теплоносієм;  $\tilde{d} = d/d_0$  – відносний зовнішній діаметр ізоляції;  $\Delta \tilde{T}_{surf} = (T_{surf} - T_{ext}) / T_{ext}$  – відносна різниця температур між внутрішньою та зовнішньою поверхнями ізоляції, віднесена до температури зовнішнього повітря;  $R_\ell$  – лінійний опір теплової ізоляції на одиницю довжини вертикального циліндра, м·К/Вт;  $\lambda_{air}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К);

Аналіз формули (3) показує монотонне зростання опору теплопередачі теплової ізоляції при зростанні її зовнішнього діаметра. Тому за будь-яких значень інших параметрів критичного радіуса або діаметра теплоізоляції вертикального циліндра не існує. Обчислення за формулою (3) виконано за допомогою програми Scilab (рис. 1).

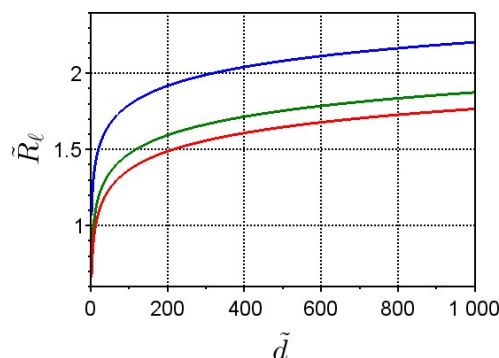


Рисунок 1 – Повний безрозмірний коефіцієнт опору теплопередачі при  $\tilde{R}_{\ell 0} = 0$ , якщо

$\tilde{B} = 1$  (блакитний);  $\tilde{B} = 5$  (зелений);  $\tilde{B} = 10$  (червоний)

Графічні залежності (рис. 1) підтверджують відсутність критичного радіуса. Товщину теплової ізоляції можна збільшувати до доцільного діаметра, щоб при подальшому нарощуванні теплоізоляційного шару збільшення енергоефективності не було істотним. Отримані результати дослідження дозволяють визначити оптимальну товщину теплової ізоляції градуювальної установки для підтримування температури водяного середовища в середині неї із відхиленням середнього значення до  $\pm 0,1$  К протягом 30 хвилин.

#### IV. ВИСНОВКИ

Результати вказують на те, що збільшення товщини теплоізоляції циліндричних поверхонь призводить до зменшення температури поверхні та коефіцієнта теплопередачі, як для вертикальних, так і для горизонтальних циліндрів, що розглядалися раніше. Збільшення термічного опору відбувається асимптотично. Концепція критичного діаметра теплової ізоляції циліндрів повністю спростована, що відкриває нові можливості у сфері енергоефективності та точності теплотехнічних досліджень. Такі теоретичні висновки підтверджують важливість постійного наукового аналізу та дослідження в даній області.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] V. Dovhaliuk, Y. Chovniuk, M. Shyshyna and A. Moskvitina, "Functional Analysis of Thermal Conductivity and Viscosity of Quasi-Solid Capillary-Porous Bodies under Varying Air Environment Conditions During Museum Storage," *Ventilation, Illumination and Heat Gas Supply*, vol. 34, Sept. 2020, pp. 7-15, doi: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2020.34.7-15>
- [2] G. Austynas, L. Ignatavičienė, D. Nesovas, "Thermographic Examination of the Thermal Insulation Condition of the Heating Point during Exploitation," *TMT*, vol. 3, no. 1, Feb. 2024, pp. 35-40, doi: <https://doi.org/10.56131/tmt.2024.3.1.206>
- [3] E. Mockienė, D. Nesovas and V. Valaitytė, "Thermographic analysis of the thermal insulation of the heat transfer regulation unit of the ventilation system," *TMT*, vol. 3, no. 1, Feb. 2024, pp. 28-34, doi: <https://doi.org/10.56131/tmt.2024.3.1.205>
- [4] Camilo Andrés Gonzalez Olier, Jorge Enrique Gonzalez Coneo and Karolina Teresa Avila Beltran, "Analysis of Insulation Panels Made from Agro-Industrial Waste for Reducing Heat Transfer in Colombian Coastal Cities: Case Study of the City of Barranquilla," *Journal of Natural Fibers*, vol. 21, NO.1, 2024, pp. 2305213. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2306130>
- [5] ДБН В.2.2-15:2019 Житлові будинки. Основні положення / Мінрегіон України. – Київ: Укрархбудінформ., 2019. – 39 с.
- [6] V. Mileikovskiy and D. Vakulenko, "Simulation of the efficiency of improved regenerative decentralised ventilators Vents TwinFresh," *Construction of Optimized Energy Potential (CoOEP)*, vol. 9, No 1/2020, pp. 61-67, doi: <https://doi.org/10.17512/bozpe.2020.1.07>
- [7] D. Vakulenko and V. Mileikovskiy, "Simulation the effectiveness of heat recovery of the regenerative ventilator using different approaches," *Ventilation, Illumination and Heat Gas Supply*, vol. 41, Apr. 2022, pp. 32-38, doi: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2022.41.32-38>
- [8] D. Vakulenko, V. Mileikovskiy, T. Tkachenko, A. Ujma and V. Konovaliuk, "Analysis of critical radius of insulation for horizontal pipes," *Contents of Proceedings of 22nd International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, May 24-26, 2023, pp. 902-907, doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF178>
- [9] D. Vakulenko, "Theoretical Studies of the Expedient Radius of Thin Pipe Insulation". *Ventilation, Illumination and Heat Gas Supply*, vol. 46, Feb. 2024, pp. 5-17, doi: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2023.46.5-17>
- [10] В. Р. Кулінченко та С. Й. Ткаченко, "Теплопередача з елементами масообміну (теорія і практика процесу)" ("Heat transfer with mass transfer elements (theory and practice of the process)"), Київ, *Фенікс*, 2014, 917 с.

# Проектування тротуарів на магістральних вулицях крупних і найкрупніших міст

Олександр Степанчук

*Академія технічних наук України  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## I. ВСТУП

Міста у всьому світі стрімко розвиваються, що супроводжується зростанням пішохідного та транспортного потоку. Міський пішохідний рух є важливою складовою життєзабезпечення міста і має велике значення з різних аспектів. Для забезпечення пішохідного переміщення людей на території міста потрібно створити відповідну інфраструктуру, яка б відповідала сучасним вимогам та потребам користувачів. Створення відповідної інфраструктури для міського пішохідного руху є важливим завданням для будь-якого міста, оскільки це сприяє покращенню якості життя мешканців та забезпеченню ефективної та безпечної транспортної системи.

Одним із ключових аспектів міської інфраструктури, що впливає на комфорт та безпеку мешканців, є тротуари на магістральних вулицях. Проектування ефективної і безпечної тротуарної інфраструктури крупних і найкрупніших міст стає надзвичайно важливим завданням для міських планувальників та інженерів.

Однією з основних проблем, з якою стикаються міські органи керування, є обмежена площа для розширення тротуарів на магістральних вулицях, особливо в старих історичних частинах міст. Це може призводити до перевантаження тротуарів та небезпеки для пішоходів, особливо в години пік, а також неправильно організована міська інфраструктура, а саме: відсутність тротуарів, недостатня освітленість або погана видимість може створювати небезпечні ситуації для пішоходів.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проектування тротуарів на магістральних вулицях крупних і найкрупніших міст є актуальною проблемою в контексті розвитку міських інфраструктур і забезпечення безпеки та комфорту для пішоходів. За останні роки багато вітчизняних і зарубіжних вчених займалися саме дослідженням пішохідних потоків та застосуванням моделей для вирішення задач організації пішохідного руху на вуличній мережі міст [1,2,3,4,5].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Проектування тротуарів на магістральних вулицях повинно враховувати потреби різних категорій користувачів, включаючи пішоходів різного віку та фізичної спроможності, велосипедистів та осіб з обмеженими можливостями. Безпека та комфорт пішоходів мають бути головними цілями під час створення та розробки міських тротуарів. Основною метою будь-якого проектування інфраструктури повинно бути забезпечення безпечних умов для пішоходів, а також забезпечення їхнього комфорту та зручності під час переміщення по міському середовищу. Особливість проектування та влаштування тротуарів полягає у врахуванні потреб всіх категорій пішоходів, включаючи людей з інвалідністю, маломобільних осіб, дітей та літніх людей, створенні безпечних переходів для пішоходів через проїзну частину вулиці, оптимізації розташування тротуарів відносно інших елементів міської інфраструктури та забезпеченні належної освітленості та сигналізації для безпечного руху пішоходів у нічний час.

Проектування ефективних тротуарів вимагає дотримання певних принципів та врахування різноманітних факторів, що впливають на їхню функціональність. До основних принципів проектування міських тротуарів належать:

- *Безпека*. Основним принципом проектування міських тротуарів є забезпечення безпеки для пішоходів. Це означає використання відповідних матеріалів, які запобігають ковзанню, рівне покриття для уникнення перешкод та належне освітлення вночі.

- *Доступність*. Тротуари повинні бути доступними для всіх категорій користувачів, включаючи людей з обмеженими можливостями, батьків із дітьми у візках та літніх людей. Розмір прохідного шляху, наявність пандусів та підйомників є важливими аспектами проектування.

- *Комфорт*. Тротуари мають бути комфортними для пішоходів, забезпечуючи достатньо місця для проходження та відпочинку. Вимоги до комфорту тротуарів визначаються не лише фізичними аспектами, а й психологічним та естетичним відчуттям користувачів. Ось деякі характеристики цих вимог:

**Прохідний простір.** Комфортні тротуари повинні мати достатньо широкий прохідний простір для пішоходів, щоб вони могли вільно рухатися без перешкод.

**Місця для відпочинку.** Наявність місць для відпочинку, таких як лавки або майданчики, є важливим аспектом комфорту тротуарів. Це дозволяє пішоходам зупинитися, відпочивати та насолоджуватися міським оточенням.

**Ландшафтний дизайн.** Естетичне оформлення тротуарів, включаючи зелені насадження, квіткові клумби та дерева, сприяє покращенню їх вигляду та створенню приємної атмосфери для пішоходів.

**Освітлення.** Належне освітлення вночі забезпечує безпеку пішоходів та створює затишну атмосферу.

Щодо оцінки вимог до комфорту тротуарів, можна сказати, що вони є надважливими для створення приємного та безпечного міського середовища. Наявність комфортних та привабливих тротуарів сприяє підвищенню якості життя мешканців міста, стимулює активний спосіб життя та сприяє соціальній інтеграції. Тому важливо враховувати ці вимоги під час проектування та благоустрою міських просторів.

Звідси можна виділити основні вимоги до проектування міських тротуарів, а саме до визначення мінімальної ширини тротуару.

Мінімальна ширина тротуару повинна бути достатньою для безпечного руху пішоходів, велосипедистів та інших користувачів. Рекомендована ширина залежить від категорії вулиці та до якої групи належить населений пункт [6,7], але зазвичай вона повинна становити не менше 1,5-2,25 метри.

Основні фактори, які впливають на визначення ширини тротуару в місті:

- потік пішоходів;
- розташування тротуару в міському середовищі;
- вимоги до доступності та безпеки.

Розробимо математичну модель для визначення ширини міських тротуарів на основі факторів, які наведені вище:

Потік пішоходів ( $N$ ) - кількість людей, які пересуваються тротуаром протягом певного періоду часу.

Розташування тротуару в міському середовищі ( $T$ ) - фактор, який відображає положення тротуару в місті (центр, середня зона, периферія).

Вимоги до доступності та безпеки ( $D$ ) - фактор, що враховує вимоги до тротуарів щодо доступності та безпеки (пропускна спроможність, наявність пандусів, переходів і т.п.).

Для цього використаємо лінійну модель для визначення ширини тротуару:

$$W = k \times N \times T + D$$

де:  $W$  - ширина тротуару, м;  $k$  - коефіцієнт, який враховує вплив потоку пішоходів та розташування тротуару;  $N$  - потік пішоходів, осіб/год;  $T$  - фактор розташування тротуару в

міському середовищі (2 - центр міста, 1 - середня зона, 0 - периферія);  $D$  - фактор вимог до доступності та безпеки.

Коефіцієнт  $k$  може бути налаштований емпірично з урахуванням місцевих умов і пропозицій від експертів у галузі міського планування та дорожньої інфраструктури. Цей коефіцієнт є ключовим елементом в математичній моделі для визначення ширини тротуару. Характеристика цього коефіцієнта полягає в його здатності враховувати різноманітні фактори, що впливають на ширину тротуару, та забезпечувати адекватну оцінку для кожної конкретної ситуації. Ця модель може бути налаштована відповідно до конкретних потреб і умов будь-якого міста. Тротуари мають бути вільними від будь-яких перешкод, таких як стовпи, ліхтарі або дерева. Це забезпечує безперешкодний рух для всіх користувачів.

Проведені дослідження вказують на важливість урахування різноманітних факторів під час проектування тротуарів у міському середовищі. Основні вимоги до таких тротуарів - це безпека, доступність та комфорт для пішоходів. Врахування очікуваного обсягу пішохідного потоку на різних вулицях і в різний час доби є ключовим для визначення розміру та конфігурації тротуарів. Проектування тротуарів базується на принципах безпеки, доступності та комфорту, що гарантує створення безпечного та приємного середовища для пішоходів. До них належать оптимізація розташування тротуарів, створення безпечних переходів через вулиці та забезпечення належної освітленості. Врахування потреб різних категорій пішоходів, таких як люди з інвалідністю, маломобільні особи, діти та літні люди, є обов'язковим для забезпечення безпеки та комфорту на тротуарах. Це вимагає не лише врахування різних факторів, але й відповідності діючим стандартам і нормативам.

Отже, проектування тротуарів у міських середовищах є складним завданням, що потребує урахування різноманітних аспектів, щоб забезпечити безпеку та комфорт для всіх користувачів.

#### IV. ВИСНОВКИ

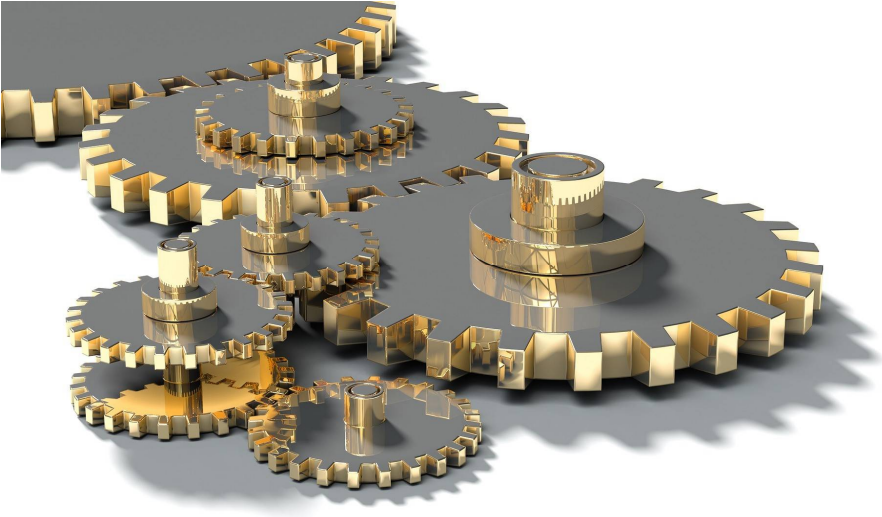
Проектування ефективних тротуарів вимагає дотримання певних принципів та врахування різноманітних факторів, що впливають на їх функціональність. До основних принципів проектування міських тротуарів належать безпека, доступність та комфорт. Врахування основних вимог до їх розміру, конфігурації та безпеки допомагає створити середовище, що сприяє активному та безпечному пересуванню пішоходів у місті.

Проектування тротуарів на магістральних вулицях є невід'ємною частиною розвитку міської інфраструктури. Це завдання передбачає не лише створення зон для пішоходів, але й урахування потреб різних категорій користувачів, включаючи пішоходів різного віку та фізичної спроможності, велосипедистів та осіб з обмеженими можливостями. Безпека та комфорт пішоходів повинні бути головними цілями під час проектування та розробки міських тротуарів.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Степанчук О. В. Обстеження пішохідних потоків на вулично-дорожній мережі міст / О. В. Степанчук // Проблеми розвитку міського середовища. К., НАУ, 2020. - Вип. 2(25) – С. 171–181.
- [2] Рейцен Є. О. Організація і безпека міського руху: навчальний посібник / Є. О. Рейцен. – Київ: ТОВ “СІК ГРУП Україна”, 2014. – 454 с.
- [3] Степанчук О.В. Принципи організації руху пішохідних потоків в контактній зоні розміщення зупинок маршрутного транспорту/ О.В. Степанчук, С.Ю. Тімкіна// Авіа-2021: Міжнародна науково-технічна конференція, 20-22 квітня 2021 р.- Київ. НАУ, 2021.- С. 20.23-20.27.
- [4] Куцина І.А. Модуль організації пішохідного руху в загальноміському центрі на прикладі м. Ужгорода. / І.А.Куцина // Містобудування та територіальне планування: наук.-тех.зб.- К. : КНУБА, 2016. – Вип. №62.- С. 327 -332.
- [5] Куцина І.А. Класифікація елементів пішохідної інфраструктури. /І.А.Куцина // Містобудування та територіальне планування: наук.-тех.зб.- К. : КНУБА, 2017. – Вип. №65.- С. 291-297.
- [6] Планування і забудова територій: ДБН Б.2.2-12:2019.- [Чинний від 2019-11-01]. – К.: Мінгребіон України , 2019. – 179 с. – (Державні будівельні норми).
- [7] Вулиці і дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5:2018.- [Чинний від 2018-09-01]. – К.: Мінгребіон України , 2018. – 56 с. – (Державні будівельні норми).

СЕКЦІЯ 9



# ТРАНСПОРТ

# Development of an information model for monitoring and forecasting the parameters of the technical condition of the Diesel Energy Unit

Igor Gritsuk<sup>a</sup>, Yuriy Grytsuk<sup>b</sup>, Mikhaylo Litvinov<sup>c</sup>, Valentine Chernenko<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine*

<sup>b</sup>*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Kramatorsk, Ukraine*

<sup>c</sup>*ADNOC HQ, Abu Dhabi, UAE*

## I. THE RELEVANCE OF THE RESEARCH

The constant development of science and technology, the use of modern information technologies, the automation of the processes of operation and management of maritime and inland water transport facilities require a significant improvement in organizational, technological and technical measures that ensure their maintenance in a working condition in the life cycle [1 - 3]. The relevance of the study is determined by the fact that monitoring and managing complex systems associated with the use of heterogeneous equipment, which is based on various physical bases, processing and predicting the parameters of the technical condition of individual elements in the equipment system, taking into account the physical condition of workers, is a complex technical task and manifests itself in the application automated control systems [4, 5].

## II. PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

Consider, for example, the development of an information model for monitoring, managing and predicting the parameters of the technical condition to consider for the Diesel Energy Unit (DEU). The proposed solution considers the use of controllers that monitor and predict the controlled parameters of the DEU both in the on-board version and in the form of a software information module. In this respect, the model of the diesel-electric plant (DEP) subject area can be represented in the form of a set:

$$M_{np.o.} = \langle F, H, P, O, V_{in}, V_{out}, R \rangle, \quad (1)$$

where:  $F = \{f_i/i=1, I\}$  are the automated functions performed by the system for monitoring and forecasting DEP parameters,  $H = \{h_j/j=1, J\}$  is the data processing task required by the system for monitoring and forecasting of DEP parameters,  $P = \{p_k/k=1, k\}$  is a set of systems characterizing the number, features, and composition of employees working with the system for monitoring and forecasting DEP parameters,  $O = \{o_m/m=1, M\}$  are the DEP automation objects, which can be presented as independent parts in the engine, generator and busbar parts,  $V = \{v_l/l=1, L\}$  are the DEP information elements (input and output parameters of the system itself), and  $R = \{r_y/y=1, Y\}$  is the set of relationships (interconnections) between the DEP components.

During the monitoring system formation, the components were described using Boolean adjacency matrixes characterizing the corresponding relations  $R$  between the components and constituents of the subject area in order to provide the analytical description of the system semantics. Types of relations between the considered sets are shown in the composed functions by  $(F, H, P, O, V_{in}, V_{out}, R)$ :  $FH = \|fh_{ij}\|$ ,  $FP = \|fp_{ik}\|$ ,  $FO = \|fo_{im}\|$ ,  $FV = \|fv_{il}\|$ ,  $HP = \|hp_{jk}\|$ ,  $HO = \|ho_{jm}\|$ ,  $HV = \|hv_{il}\|$ ,  $OV = \|ov_{ml}\|$ . This allows an analysis and multiple model of DEP subject area. This model reveals the completeness and consistency of the components with respect to all sets of the subject area, as well as the relationships between them.

The information structures graphs for the model of the system of monitoring and forecasting of controlled parameters of DEP require constructing of a set of structural elements and components

based on the model of DEP subject area, creating of semantic adjacency matrix on the basis of a set of structural elements and construction of an oriented graph of DEP information structure and a matrix semantic accessibility of elements, defining information and group elements of DEP structural set, arranging structural elements groups according to the levels of the inherent hierarchy, selecting and implementing a set of relevant keys and attributes in data groups of DEP monitoring system, and constructing the canonical database model of DEP monitoring system.

The main structural elements of the model for the monitoring and forecasting system of DEP parameters based on the D-246.4 diesel engine are the elements of the specified sets  $O$  and  $V$ :  $D = \{d_i \mid i = 1, 66\}$ ,  $P(D) = 66$ .

Under the semantic adjacency matrix  $B = \| b_{ij} \|$ , the work considers a square binary matrix indexed along both axes of a set of  $D$  structural elements. The received matrix of the system corresponds to the information structure digraph. The digraph vertices correspond to the structural elements and the arcs reflect the presence or absence of a connection between them. To obtain the reachability matrix, the resulting matrix was gradually raised to the whole positive powers  $n$  ( $n = 2, 3, \dots, L - 1$ ), which formed a certain number of access paths matrixes. In the experimental case, the second degree of the obtained matrix is a degenerate matrix. Thus, the matrix of semantic reachability coincides with the matrix of semantic contiguity. The matrix, obtained in the process of study, allows determining a set of precedence  $C(d_i)$  and reachability  $F(d_i) \forall d_i \in D$  functions. The set  $C(d_i)$  is formed from the elements corresponding to the single records in the  $i$ -th column, and the set  $F(d_i)$  is formed from the elements corresponding to the single records in the  $i$ -th row of the resulting matrix. Analysis of the set  $C(d_i)$  allows to identify the basic types of structural elements - information elements and groups. Structures with  $C(d_i) = 0$  correspond to information elements. Pendant vertexes correspond to them on the resulting graph.

The sets of precedence and reachability were calculated for each structural element, according to the dependencies given earlier:

$$\forall i, i = 1, \dots, 56 \ C(d_i) = \varnothing; C(d_{57}) = \{d_i \mid i = 1, \dots, 19, 56\};$$

$$C(d_{58}) = \{d_i \mid i = 20, \dots, 37, 56\}; C(d_{59}) = \{d_i \mid i = 38, \dots, 56\}, \quad (2)$$

$$\forall i, i = 57, \dots, 59 \ F(d_i) = \varnothing; \forall i, i = 1, \dots, 19 \ F(d_i) = \{d_{57}\},$$

$$\forall i, i = 20, \dots, 37 \ F(d_i) = \{d_{58}\}; \forall i, i = 38, \dots, 55 \ F(d_i) = \{d_{59}\}; F(d_{56}) = \{d_{57}, d_{58}, d_{59}\}, \quad (3)$$

The following method was used to determine the information elements: sum up the elements of each  $j$ -column of  $A$ -matrix. If  $\sum_{i=1}^{P(D)} a_{ij} = 0$ , then the  $j$ -element of the structural set is informative;

otherwise, the structural element is a group element. This produces a degeneracy matrix, whereby all its elements are equal to 0. Due to the obtained result, the information structure does not have a multi-level hierarchical organization and therefore there is no need to carry out ordering and normalization procedures. Based on the obtained result, it is sufficient to examine the information composition of the groups regarding the presence of common elements. A common information element for all three information groups was obtained for the investigated DEP monitoring system using the D-246.4 stationary diesel engine as an exemplar. This is the  $d_{56}$  element ("Collection time for system information"). This element is also key due to the semantic dependence of the received data during information collection. Therefore, the set of keys is  $W1 = \{d_{56}\}$ , the set of attributes is  $W2 = \{d_i \mid i = 1, \dots, 55\}$ .

A set of appropriate algorithms for one-parametric and group multi-parametric forecasting were developed to implement forecasting algorithms for estimating the parameters of a diesel-electric plant. The forecasting process is presented as an operator transformation ( $P$ ) of the initial (received) information about the researched object in the form of its reflection on the future, which is limited by the depth of the forecast  $P: \{D_i, T\} \rightarrow I$ , where  $P$  is the forecasting operator;  $D_i$  - information about the initial state of the object (in our case is a time series);  $T$  - forecast horizon;  $I$  is the forecast result.

The purpose of forecasting DEP parameters is to study the dynamics and identify the violations of permissible limits of controlled parameters values in the future in the corresponding time interval. Depending on DEP operation mode, the limit values for the forecast are selected. If DEP operates in the mode of the system main power source, it is very important to predict the parameters values in the short term. When the DEP operates in emergency mode, it is necessary to ensure that measurements are taken at least once during one switch-on. The form of function describing the systematic component of the monitoring system allows to evaluate the final solution. If the chosen option is unsuccessful, then the successive values of residuals series can have independence properties, because of correlation with each other and, in this case, autocorrelation errors occur. The Durbin-Watson statistic and model used in the study are related to the hypothesis of first-order autocorrelation existence, that is autocorrelation between adjacent residual members of the series:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (4)$$

The Mean Absolute Percentage Error (MAPE) was used to assess the accuracy of the forecasting models:

$$|\bar{\delta}| = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right| \cdot 100\% \quad (5)$$

where  $n$  is the number of time series levels used to determine the forecast value ( $\hat{y}_t, y_t$ ).

MAPE characteristic is widely used to compare the forecast accuracy of heterogeneous forecasting objects. With values in the range of 10-20%, the accuracy can be considered good, and with  $20\% < |\bar{\delta}| < 50\%$  is satisfactory.

### III. CONCLUSIONS

When modeling the parameters of a diesel-electric plant, principles were used that focused on the specific tasks of processing, analyzing data and the functional needs and features of the work of the maintenance personnel. The article also presents a mechanism for implementing a predictive model, which is carried out on the basis of a DEU monitoring system (monitoring and determining the status of engine breakdowns).

### REFERENCES

- [1] Gritsuk, I.V., Volkov, V., Mateichyk, V., Grytsuk, Y., Nikitchenko, Y., Klets, D., Smieszek, M., Volkov, Y., Symonenko, R., Grytsuk, A., 2018. Information model of V2I system of the vehicle technical condition remote monitoring and control in Operation Conditions. *SAE Technical Paper Series*. doi:10.4271/2018-01-0024
- [2] Govorushchenko, N.Y., System engineering of motor transport (calculation methods of research): monograph, Kharkov: KhNAHU, 2011, 292. [in Russian]
- [3] Troitskiy-Markov T.Y. and Sennovskiy, D.V., Principles for energy efficiency monitoring system, *Monitoring Science and safety*, 2011, № 4, 34-39. [in Russian]
- [4] Almobarek, M., Mendibil, K., Alrashdan, A., 2022. Predictive maintenance 4.0 for chilled water system at commercial buildings: A systematic literature review. *Buildings* 12, 1229. doi:10.3390/buildings12081229
- [5] Kuric, I., Gorobchenko, O., Litikova, O., Gritsuk, I., Mateichyk, V., Bulgakov, M., Klackova, I., 2020. Research of vehicle control informative functioning capacity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 776, 012036. doi:10.1088/1757-899x/776/1/012036

# Formation of an information exchange scheme on the example of a ship power plant

Igor Gritsuk<sup>a</sup>, Oleksandr Polishchuk<sup>a</sup>, Valerii Hritsuk<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine*

<sup>b</sup>*Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

The efficiency of maritime and inland waterway transport is determined by the technical readiness of vessels and their power plants, which leads to lower operating costs. However, the existing management system for maintenance, repairs, and pre-voyage preparation needs to be reviewed due to the current condition of these transport facilities. Analysis of recent accidents in transportation shows that most of them are caused by equipment failures during the journey. The main reason for these failures is the insufficient attention given to assessing the actual technical condition of the equipment before sending the ships on a voyage. Therefore, there is a need to increase the technical readiness of ship power plants by improving the maintenance system using automated information support. Accurate and timely data play a crucial role in achieving this goal, so new methods are being sought for collecting and summarizing information to enhance control over power plants, vehicles, and operators.

## II. THE RELEVANCE OF THE RESEARCH

Considering the context and features and maintenance of technical documentation in the field of operation of ship power facilities, further research is needed to improve the collection and analysis of data, in order to improve quality control for the correct organization of the operation of vehicles, optimization of employee work modes [1, 2]. This makes it possible to make timely decisions on issues of remote assessment of the parameters of the state of vehicles, their power plants, assessment of the total technical condition of complex installations, schedule of maintenance or overhaul of components [3, 4].

## III. PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

The scheme of information exchange (Fig. 1) between the elements of the ship power plant includes the following elements. Sources of primary information of the ship power plant: Diesel engines (main), Diesel-electric installations, Equipment, and components. At the same time, regular and additional (GPS, IMU, WindSpeed, WaveSensor, WindDirection and others) ship power sensors are installed on the equipment of the ship power plant, which, through Standard and additional data exchange systems, transmit information to standard and additional controllers and control units associated with the lines communications and information storage devices [5, 6].

If communication lines are available (when the ship would enter harbors where internet connectivity was regained), information is transmitted to the participants in the operation process, to the monitoring workplace, to the components and programs of the system monitoring and through a Web server to databases and software for an information model for monitoring, controlling and predicting the parameters of the technical condition of a ship power plant. to the onboard information storage device of the vessel and the ship power plant (data recorder CANedge) [5, 6]. When available, information from the onboard storage device is transmitted through the communication lines to the information consumers described above. Parameter prediction can be performed both at the level of controllers (blocks control) and at the workplace of the system for monitoring and predicting the parameters of the technical condition of the ship power plant [5, 6].

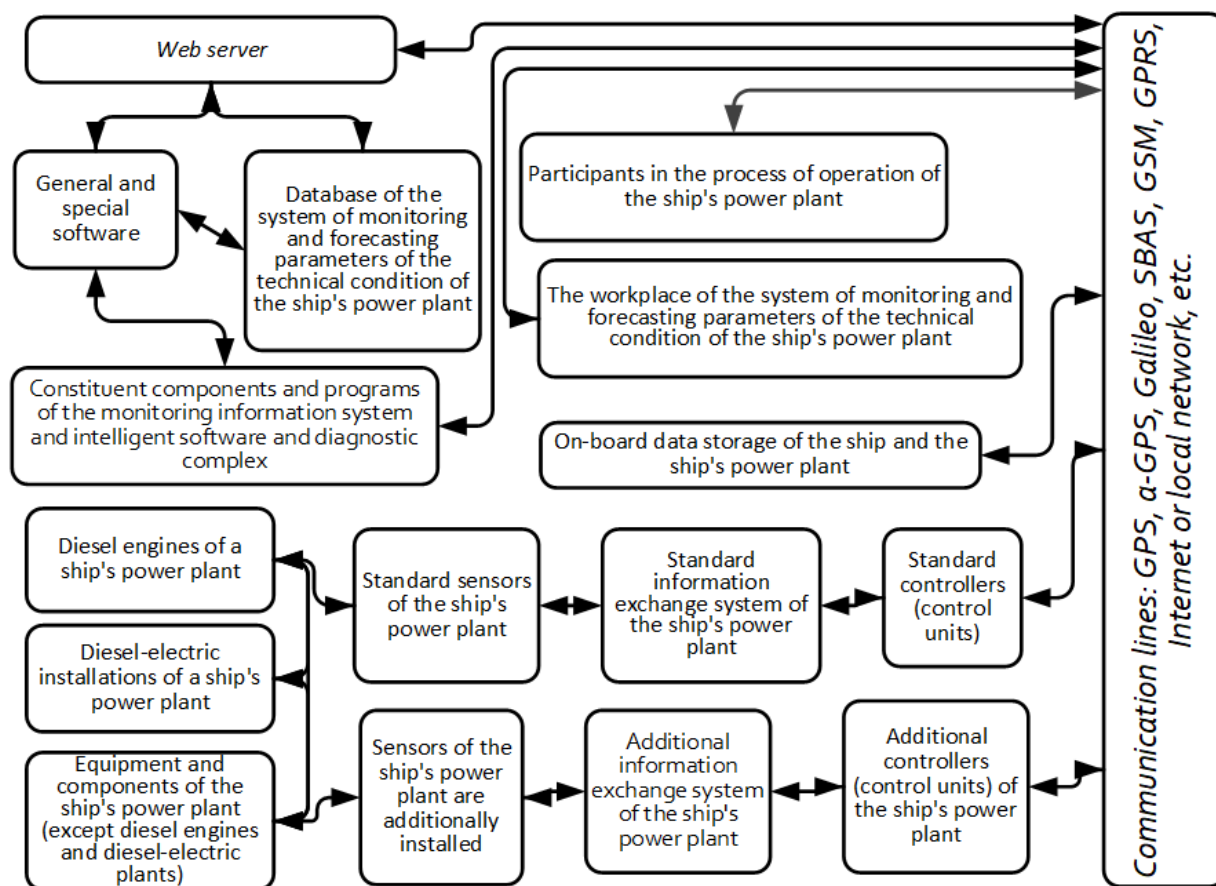


Figure 1 - Scheme of information exchange between the elements of the ship's power plant for monitoring and controlling the ship's power plant

In the information exchange scheme, it is planned to use the CANedge2 data recorder to set up the marine telematics system and the GEOxyz ship information panels to monitor the vessel in operation [5, 6]. It is planned to use the following protocols, standards and buses for the system operation. Standardized NMEA 2000® communication protocol used in maritime and inland water transport (boats, ships, etc.). It is based on the CAN bus and SAE J1939 [5, 6]. It can be used to connect autopilot systems, navigation and GPS systems, marine power plant engines, wind sensors, etc. The NMEA 2000® standard requires the use of standard DeviceNet ship cables. In most cases of using the CANedge recorder, it is for registration in the marine industry that it is necessary to connect to the CAN bus using a special adapter cable (adapter) DB9-M12 in accordance with the requirements of IEC 61076-2-101 (DB9-M12 adapter) [5, 6]. In practice, many different communication protocols can be used in marine applications (for both external and internal communications). These include the NMEA 2000® protocol (NMEA 0183 and SAE J1939). It is possible to use different protocol implementations with rebranding (Raymarine, SeaTalk2, Furuno's Navnet, etc.). Ethernet (for example, Lightweight Ethernet, LWE) is also relevant on modern marine vessels for the transmission of radar information and other communications with intensive use of processed and raw data [5, 6].

As an on-board storage device, it is possible to use both an SD card and own (regular/portable) local/dedicated/cloud server via a WiFi access point [5, 6].

The main standard sensors and additionally installed sensors of the ship power plant form a field of elements interacting with each other using information exchange systems and communication lines. The main regular and additional controllers (control units) also participate in this process. The most critical technological processes are controlled by appropriate sensors (temperature, pressure, flow, level of basic process fluids and equipment conditions). All of them are included in the information system for monitoring the ship power plant.

#### IV. CONCLUSIONS

The article presents the results of substantiated and presented is a scheme of information exchange between the elements of the ship's power plant for monitoring and controlling the ship's power plant. As an example of the development of an information model, a diesel-electric plant based on the D-246.4 engine is considered. For further work, the authors plan to investigate the possibilities of predicting the processes of monitoring and controlling the parameters of the technical condition of a ship power plant, both for the corresponding forecast time and up to the obtained parameter values with the smallest value of the forecast time, at which the set of allowable limits will be exceeded.

#### REFERENCES

- [1] Volodarets, M., Gritsuk, I., Chygyryk, N., Belousov, E., Golovan, A., Volska, O., Hlushchenko PhD, V., Pohorletskyi, D., Volodarets, O., 2019. Optimization of vehicle operating conditions by using simulation modeling software. *SAE Technical Paper Series*. doi:10.4271/2019-01-0099
- [2] Parsadanov, I., Marchenko, A., Tkachuk, M., Kravchenko, S., Polyvianchuk, A., Strokov, A., Gritsuk, I.V., Rykova, I., Savchenko, A., Smirnov, O., Postol, Y., Savchuk, V., 2020. Complex assessment of fuel efficiency and diesel exhaust toxicity. *SAE Technical Paper Series*. doi:10.4271/2020-01-2182
- [3] Gritsuk, I.V., Volkov, V., Mateichyk, V., Grytsuk, Y., Nikitchenko, Y., Klets, D., Smieszek, M., Volkov, Y., Symonenko, R., Grytsuk, A., 2018. Information model of V2I system of the vehicle technical condition remote monitoring and control in Operation Conditions. *SAE Technical Paper Series*. doi:10.4271/2018-01-0024
- [4] Troitskiy-Markov T.Y. and Sennovskiy, D.V., Principles for energy efficiency monitoring system, *Monitoring Science and safety*, 2011, № 4, 34-39. [in Russian]
- [5] CSS Electronics, 2021. Ship telematics - J1939 engine to cloud + dashboards [case study] [WWW Document]. CSS Electronics. URL <https://www.csselectronics.com/pages/ship-telematics-j1939-nmea> (accessed 04.29.24).
- [6] Weissmueller, C., 2021. Can data logger case studies [WWW Document]. Applications. URL [https://www.can-newsletter.org/engineering/applications/211125\\_can-data-logger-case-studies\\_cnlnm](https://www.can-newsletter.org/engineering/applications/211125_can-data-logger-case-studies_cnlnm) (accessed 04.28.24).

# Аспекти оцінювання ефективності систем головного освітлення автомобілів при експертизі аварійних ситуацій

Андрій Кашканов

*Вінницький національний технічний університет  
м. Вінниця, Україна*

## I. ВСТУП

Мінімізація аварійності на транспорті є актуальною проблемою світового масштабу. Її успішне вирішення напряму залежить від наявних знань про причинно-наслідкові зв'язки, які діяли в процесі дорожньо-транспортної пригоди (ДТП). Темна пора доби є небезпечним періодом експлуатації автотранспортних засобів (АТЗ) та руху пішоходів [1], оскільки близько 52% випадків загибелі водіїв та 71% випадків загибелі пішоходів відбуваються в темну пору доби та сутінки, при зниженні інтенсивності руху в 3–10 раз. Безпечність руху АТЗ в темну пору доби залежить від зорової (97-99%) та слухової (1-3%) інформації про дорожню обстановку. Основні сприятливі фактори цьому: відсутність чи незадовільність освітлення проїзної частини; несправність системи освітлення АТЗ; дія світла фар зустрічних АТЗ; швидка втомлюваність водія під час роботи вночі; недооціненість реальної нічної обстановки; недостатя досвідченість керування АТЗ в темну пору доби.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Оцінювання видимості об'єктів дорожньої обстановки у нічний час можна здійснити різними методами, засобами і технологіями [2]. Основною метою їх застосування є забезпечення роботи систем активної безпеки АТЗ та допомоги водію [3], організації та керування дорожнім рухом [4] та автотехнічної експертизи ДТП [5].

Правильність обрання швидкості руху АТЗ в темну пору доби визначає наявність технічної можливості уникнення ДТА. Для забезпечення об'єктивності розслідування механізму ДТП експериментально визначається видимість об'єктів дорожньої обстановки в умовах, аналогічних тим, що були в момент аварійної ситуації. Складність і неоднозначність процесів оцінювання видимості людиною, потреба у трудомістких натурних спостереженнях в максимально наближених дорожніх, погодних та інших умовах сприяють виникненню похибок, збільшують невизначеність даних, які впливають на експертні висновки. Для вирішення цієї проблеми необхідне всебічне вивчення характеру зорового сприйняття світла автомобільних фар та створення сучасних методик оцінювання їх ефективності в різних умовах експлуатації.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розвиток систем головного освітлення АТЗ розпочався у 1898 році із застосування електричних ламп накалювання. У 1971 році були впроваджені галогенні лампи. З 1992 року почали застосовуватися ксенонові лампи головного освітлення. У 2007 році – світлодіодні, а з 2014 року – лазерно-люмінофорні. За останні 25 років значно покращились оптичні системи фар, датчики, електронні та програмні компоненти інтелектуальних освітлювальних систем АТЗ [2, 3]. Дані аналітичних звітів з розвитку автомобільної світлотехніки показують, що на даний час в АТЗ основними типами джерел освітлення є: галогенне, ксенонове та світлодіодне (табл. 1). Доля АТЗ з галогенними джерелами складає біля 70-80% [6].

Таблиця 1 – Основні показники систем головного освітлення для ТЗ категорії М1

| Показник/Тип фар          | Галогенні | Ксенонові                                | Світлодіодні (LED)  |
|---------------------------|-----------|--|---------------------|
| Термін служби, год        | до 1000   | до 3000                                  | від 10000 до 100000 |
| Номінальна напруга, В     | 12        | 85, для імпульсу до включення (10-20 кВ) | 12                  |
| Номінальна потужність, Вт | 55-65     | 35                                       | до 20               |
| Світловий потік, лм       | 1000-1650 | 2800-3200                                | 800-1700 і більше   |
| Вартість                  | низька    | висока                                   | висока              |

Візуальна реакція людини на світло здійснюється за фотометричними параметрами: силою світла, світловим потоком, освітленістю, яскравістю та світловою ефективністю [1, 2]. Показниками якості світла фар АТЗ є: дальність, ширина, комфорт (охват зони погляду водія), рівень незручностей для інших учасників руху. Вимоги до цих показників зосереджені в Правилах ЄЕК ООН R1, R2, R8, R20, R48, R98, R99.

В темну пору доби для забезпечення безпеки руху потрібно щоб відстань видимості дорожніх об'єктів  $S_V$  була більша ніж зупиночний шлях АТЗ  $S_0$ . В практиці встановлення обставин ДТП [5] зупиночний шлях визначають так

$$S_0 = (t_R + t_G + 0.5 \cdot t_J) \cdot v_0 + v_0^2 / (2 \cdot j), \quad (1)$$

де  $t_R$  – час реакції водія;

$t_G$  – час спрацювання гальм;

$t_J$  – час наростання сповільнення;

$v_0$  – початкова швидкість АТЗ;

$j$  – сповільнення АТЗ при гальмуванні.

Прозорість атмосфери та кольоровий контраст предметів розрізнення визначають освітленість, необхідну для виявлення перешкоди. Емпірична залежність для її наближеного визначення виглядає так [1]

$$E_n = 0,2 + 0,01 \cdot S_0. \quad (2)$$

Для виявлення перешкоди на відстані видимості  $S_V$  використовують значення сумарної сили світла фар та освітленості [3]

$$I = E_n \cdot S_V^2. \quad (3)$$

Коефіцієнт засліплення характеризує ступінь погіршення видимості дорожніх об'єктів водієм внаслідок дії фар зустрічних АТЗ [7]

$$C_S = (I_S + I_F) / I_S, \quad (4)$$

де  $I_S$  – сила світла, що спричиняє засліплення;

$I_F$  – сила світла фар, що потрапляє в очі водія від зустрічного АТЗ.

Видимість об'єктів дорожньої обстановки (рис. 1) у світлі фар АТЗ залежить від освітленості дороги  $E$ , яка створена на відстані  $D$  та освітленості, що необхідна для виявлення перешкоди  $E_n$

$$S_V = d \sqrt{E / E_n}. \quad (5)$$



Рисунок 1 – Визначники видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби

З іншого боку, базуючись на відомостях рисунку 1, величину відстані видимості  $S_V$  можна визначити на основі пошуку відображення

$$S_V = f(I_{\alpha\beta}, \alpha, \beta, \delta, \rho, C_S, K, B_a, \gamma). \quad (6)$$

#### IV. ВИСНОВКИ

Безпека руху АТЗ в темну пору доби визначається зоровою інформацією про дорожню обстановку. Процес ідентифікації відстані видимості людиною неоднозначний і складний. Діючі методичні підходи щодо оцінювання видимості дорожніх об'єктів при експертизі аварійних ситуацій потребують проведення трудомістких натурних спостережень в умовах, які максимально наближені до тих, що мали місце при ДТП. Дані обставини не сприяють формуванню об'єктивних експертних висновків. Вирішення вищезначених проблемних питань можна здійснити на основі всебічного дослідження характеру розповсюдження та зорового сприйняття світла фар АТЗ, створення нових сучасних методичних підходів щодо оцінювання їх ефективності в різних умовах експлуатації.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Kashkanov A, Kuzhel V, Kurytnik I, Kucheruk V (2020) Automotive lighting: method of assessing the visibility of objects in the light of car headlights. *Przeгляд Elektrotechniczny*, 9: 90-94. doi: 10.15199/48.2020.09.19
- [2] Suh, Sang; Anthony, Thomas (2018). *Big Data and Visual Analytics*. Cham: Springer.
- [3] Robert Bosch GmbH. (2022). *Automotive Handbook*. 11th ed. Karlsruhe: Wiley.
- [4] Кашканов А. А., Кужель В. П. (2017). *Організація дорожнього руху* : навч. посібник. Вінниця: ВНТУ. 125 с.
- [5] Struble D.E., Struble J. D. (2020). *Automotive Accident Reconstruction*. CRC Press. doi:10.1201/9781003008972.
- [6] Precedence Research. (2024). *Automotive Lighting Market - Global Market Size, Trends Analysis, Segment Forecasts, Regional Outlook 2024 - 2033*. Available at: <https://www.precedenceresearch.com>
- [7] Кашканов А. А., Кужель В. П. (2003). Вплив засліпленості водія на вибір безпечних режимів руху. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. № 5. С. 63-66.

# Гребна електрична установка для підводних апаратів

Олег Кімстач

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
м. Миколаїв, Україна*

## I. Вступ

Активне дослідження та освоєння водного середовища потребує використання спеціального підводне-технічного обладнання, до складу якого відносяться самохідні підводні апарати. Їх рух у водному середовищі зазвичай забезпечують гребні електричні установки (ГЕУ). Тип, склад і характеристики ГЕУ головним чином визначаються типами електричного двигуна та рушія. Стрімкий розвиток електромеханічних систем останнім часом призвів до розширення спектру можливих технічних рішень для реалізації ГЕУ підводних апаратів, що потребує застосування більш обґрунтованого підходу до вибору елементної бази ГЕУ.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Найбільше поширення отримали ГЕУ підводних апаратів, які виконані за класичною схемою: електродвигун-вал з ущільненням-гвинт. Але існують і більш технологічні варіанти реалізації рушійної системи підводного апарата. Так в роботі [1] описується математична модель біоміметричної системи, яка забезпечує рух завдяки зміні форми підводного апарата аналогічно поведінці живої риби, але така система достатньо складна, особливо з точки зору керованості. Також відомо застосування водометних систем для руху підводних апаратів [2], які можна реалізувати на основі використання рідинних двигунів [3], але вони мають досить низькі енергетичні показники, що у купі з обмеженням потужності енергетичної системи підводного апарата робить їх мало затребуваними, хоча слід відзначити їх одну дуже важливу перевагу – абсолютну герметичність.

Наявність абсолютної герметичності, тобто відсутність передачі механічної потужності зсередини підводного апарата у зовнішнє середовище, може бути вирішальним фактором для вибору рушійної системи, особливо це стосується підводних апаратів, які призначені для роботи на значній глибині. Це пов'язано зі значними труднощами із забезпеченням якісного та довговічного ущільнення валу, а в деяких випадках з досягненням відповідного рівня малощумної роботи підводного апарата. Тому фактор абсолютної герметичності було обрано, як визначальний, для подальших досліджень.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Трансформаторно-асинхронна система (ТАС) є найбільш перспективним джерелом механічної потужності для руху підводного апарата. Вона складається з [4]:

- трансформатора-перетворювача, котрий забезпечує зниження величини напруги та перетворення кількості фаз, збільшуючи її до кількості пазів трансформатора, виконаного у вигляді трансформатора з обертовим полем (рис. 1);
- багатофазного асинхронного двигуна, у котрого кількість фаз дорівнює кількості пазів статора, що дозволяє зробити обмотку статора без ізоляції (рис. 1);
- лінії зв'язку у вигляді гермоводів, які з'єднують стрижні вторинної обмотки трансформатора та обмотки статора асинхронного двигуна (рис. 1).

Внутрішня порожнина асинхронного двигуна може бути відкритою для зовнішнього середовища (забортної води), але це зазвичай призводить до скорочення терміну служби ТАС, а також до зниження ККД, особливо в умовах морської води, тому більш доцільно застосовувати частково закрите виконання асинхронного двигуна, котре передбачає використання не дуже жорстких ущільнень валу та заповнення внутрішньої порожнини спеціальною діелектричною рідиною. Асинхронний двигун системи жорстко прикріплюється до корпусу підводного апарату, тому для забезпечення керування напрямком руху потрібно застосовувати щонайменше три ТАС, що дозволяє змінювати напрямку руху у трьох осях.

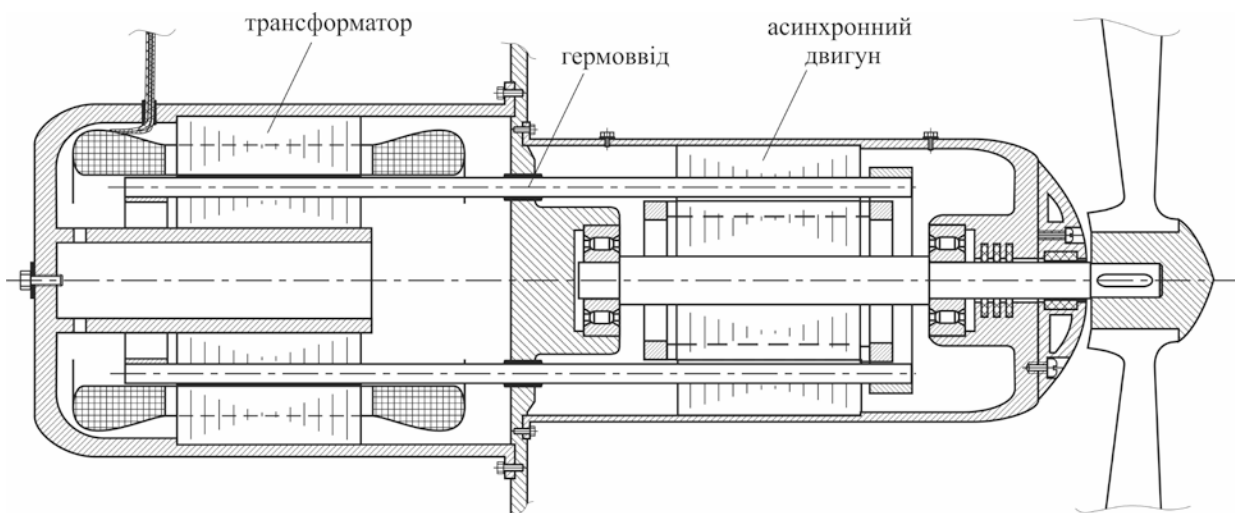


Рисунок 1 – Конструктивна схема ТАС у складі ГЕУ підводного апарату

Регулювання швидкості обертання ТАС виконується так само як і звичайного асинхронного двигуна, найбільш прийнятним є частотне керування, яке дозволяє отримати варіацію частоти обертання майже від 0 до номінального значення. Зміна напрямку обертання також може бути отримана, як для звичайного асинхронного двигуна, взаємним перемиканням двох будь-яких фаз. Для аналізу динамічних властивостей ТАС можна застосувати математичні моделі, які наведені у [5, 6].

#### IV. ВИСНОВКИ

Наведена ГЕУ підводного апарату на основі ТАС дозволяє поєднати всі найкращі властивості всіх інших варіантів реалізації рушійної системи, які складаються з абсолютної герметичності, довговічності, високої надійності, широких можливостей з боку керування та простоти конструкції.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] J.A. Algarín-Pinto, L.E. Garza-Castañón, A. VargasMartínez, L.I. Minchala-Ávila, "Dynamic Modeling and Control of a Parallel Mechanism Used in the Propulsion System of a Biomimetic Underwater Vehicle," *Appl. Sci.* 2021, 11, 4909. <https://doi.org/10.3390/app11114909>
- [2] S. Gu, S. Guo, "Performance Evaluation of a Novel Propulsion System for the Spherical Underwater Robot (SURIII)," *Applied Sciences*. 2017; 7(11):1196. <https://doi.org/10.3390/app7111196>
- [3] Кімстач О.Ю., Норенко Г.А. Асинхронно-рідинний двигун // *Електротехніка і електромеханіка*. Мат. Міжн. науково-технічної конф. студентів, аспірантів, молодих вчених – Миколаїв: НУК, 2005. – С. 99-104/
- [4] A. Stavinsky, O. Kimstach, "The influence of environment thermal conditions on design of the transformer induction systems (TIS)," in *Proc. 5-th international conference UEES'01*, Volume 2 of 3, Poland: Szczecin and Miedzdroje – 2001, pp. 531-534.
- [5] O. Kimstach, "Optimal starting of the induction motor," *ELEKTROTEHNIŠKI VESTNIK*. 2022. 89(5), pp. 263-268.
- [6] Кімстач О.Ю., Талпа О.С. Динамічні характеристики асинхронного двигуна з урахуванням властивостей джерела живлення // *Actual scientific research in the modern world. Journal.* - Pereiaslav, 2019. – Issue. 5(49), p. 1 – pp. 6-13.

# Покращення параметрів безпеки кузовів транспортних засобів на стадії проектування

## Олександр Артюх

*Національний університет «Запорізька політехніка»  
м. Запоріжжя, Україна*

### I. ВСТУП

Проблема безпеки – одне з найскладніших і трудомістких завдань, яке доводиться вирішувати під час проектування нових транспортних засобів. У світі впроваджуються дедалі жорсткіші правила, за якими оцінюють ступінь захисту водія і пасажирів автомобіля, у зв'язку з чим виникає необхідність у теоретичній оцінці безпеки кузовів на стадії проектування, що дає змогу зменшити час і вартість розроблення, скоротити до мінімуму кількість випробувальних зразків.

На пасивну безпеку автомобіля впливає безліч конструктивних і технологічних чинників, на базі яких можна сформувати систему забезпечення пасивної безпеки. За наявності достовірної статистичної інформації про пасивну безпеку автомобіля на стадії експлуатації можливості управління системою забезпечення пасивної безпеки на цьому етапі обмежені і пов'язані в основному з регламентацією швидкості руху. Набагато ширші можливості є на стадії проектування окремих елементів цієї системи, коли можливе доведення та оптимізація її конструктивних параметрів.

### II. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Можливості інженера-конструктора щодо покращення безпеки автомобіля, тобто зменшення тяжкості наслідків дорожньо-транспортних пригод, обмежені наявною інформацією з наступних питань: які навантаження може витримати людина без незворотних ушкоджень в організмі; що відбувається з людьми, які перебувають в автомобілі, а також як їх можна захистити під час аварії.

Під час зіткнення з перешкодою на автомобіль і людей, які перебувають у ньому, діють сили великої величини, причому за дуже короткий проміжок часу вони загальмовують автомобіль до повної зупинки. Наслідком такої різкої зміни швидкості є дуже високі уповільнення. Локальні сповільнення, що виникають при цьому, і процес їх зміни в часі можуть характеризувати ступінь тяжкості травм. Якщо процес уповільнення і піки, що виникають при цьому (процес уповільнення ніколи не буває рівномірним), зняти на відео, а потім провести необхідні вимірювання, то це може стати підставою для технічного дослідження аварії. Такі дослідження дають змогу встановити зв'язки між травмами і причинами, що їх спричиняють.

На сьогоднішній день експериментально підтверджено, що ступінь травматизму пропорційний уповільненню, що виникає. Тому дослідження дорожньо-транспортних пригод націлені на пошук шляхів зменшення уповільнення.

Спеціальні дослідження показали, що екстремальне навантаження, яке витримує людина, залежить не тільки від граничного значення сил, що виникають під час лінійних сповільнень, а й від тривалості дії навантаження.

Тільки маючи відомості про процес зіткнення, можна провести точний аналіз аварії і ретельно вивчити її вплив на людей, які перебувають в автомобілі. Для того щоб можна було провести порівняння, а також отримати відтворювані результати, необхідно проводити єдині стандартні випробування. Основним є випробування на фронтальний удар, не тільки тому, що серед важких зіткнень автомобілів фронтальний удар трапляється найчастіше, а й тому,

що цей процес найбільш наочний. Інформація, що отримується в результаті цього випробування, може бути застосована для досліджень процесу і наслідків інших типів аварій.

При фронтальному зіткненні допускається незначна деформація каркаса салону, після якої двері повинні відкриватися. Також проводяться різні випробування автомобіля на удар ззаду, за якого маятник або інший автомобіль вдаряється в задню частину нерухомо стоячого автомобіля. І в цьому випадку каркас салону не повинен істотно деформуватися, а з паливного бака не повинно витікати паливо. Подібним же чином здійснюється випробування на удар збоку. При таких видах ударів допускається вдавлювання кузова до певної величини.

Під час випробувань на перекидання, під час якого автомобіль зі спеціальної платформи перекидають набік, внаслідок чого розміри салону не повинні надмірно зменшуватися з метою збереження простору виживання.

Також проводиться безліч інших випробувань, особливо щодо ударів усередині салону (наприклад, об панель приладів). Особливо ретельно перевіряють якість утримання пасажирів і водія на своїх місцях за рахунок ременів безпеки, та особливо точки кріплення ременів на кузові, і не лише на міцність, а й на обмежену деформацію.

Можливість проведення вказаних досліджень щодо визначення чисельних значень граничних навантажень, які може витримати людина дуже проблематична, оскільки живу людину неможливо піддати впливу таких граничних навантажень, після яких можуть статися фізичні пошкодження. До того ж, значення граничних навантажень сильно коливаються залежно від віку і статі людини, яку піддають випробуванню. Однозначної відповіді від таких експериментів очікувати не доводиться. Тому подібні дослідження раніше проводили із використанням трупів тварин і людей – у цьому разі теж можна отримати тільки відносні результати.



Рисунок 1 – Приклад використання «сім'ї манекенів» (дітей і дорослих) при випробуванні кузова кабриолета на перекидання

Шляхом аналізу численних результатів можна визначити лише приблизні значення граничних навантажень для людини.

У той час, коли вимірювання уповільнень, що виникають у різних точках кузова під час зіткнення, не є проблемою, вимір уповільнень живої людини навряд чи можливий. Тому зараз для випробувань використовуються цілі «сім'ї манекенів» (дітей і дорослих), які

Прикладні науково-технічні дослідження, Івано-Франківськ, Україна, 14-16 травня 2024 року

повторюють не тільки форму людини (за вагою і пропорціями частин тіла), а й подібні до неї за кінематикою і динамікою.

Манекени для випробувань складаються з металевих і пластмасових деталей. Голова, хребет, таз і кінцівки ретельно скопійовані з людського тіла, включно із суглобами, і там, де необхідно (наприклад, на голові), імітовано м'язи та шкіру. Тертя в суглобах, міцність скелета і багато інших особливостей людського тіла точно визначено, їх потрібно перевіряти і регулювати на манекені перед кожним випробуванням. У різних місцях тіла можуть встановлюватися датчики для фіксації уповільнень, що виникають під час випробування на зіткнення. Незважаючи на ретельність виготовлення і регулювання, похибка вимірювань відносно велика (~10%).

Манекен, звісно, не має інстинктивної та спонтанної захисної реакції людини, яка потрапила в аварію. З цієї причини і ще з багатьох інших значень сил і сповільнень, отриманих за допомогою манекенів, не можуть служити для оцінки ступеня тяжкості травми реальної людини. З їхньою допомогою можна визначити лише відносну величину захисної дії деяких конструкцій і пристосувань (наприклад, ременів безпеки), віднесено до граничних навантажень для людського тіла, знайдених або отриманих екстраполяванням.

Незалежно від того, вдасться чи ні подальшими принциповими дослідженнями поліпшити зв'язок «манекен-людина», слід приділяти увагу вдосконаленню манекенів, наприклад, введенням збудників реакції. Незважаючи на недоліки, манекени є незамінним допоміжним засобом, без якого було б неможливо одержати необхідні дані та зробити висновки, необхідні для конструювання й розроблення безпечних для здоров'я кузовів автомобілів.

Таким чином, тільки проведення теоретико-експериментальних досліджень та аналіз результатів дорожньо-транспортних пригод дають можливість з'ясувати, наскільки ефективними є запропоновані та впроваджені технічні рішення і яких конструктивних заходів ще необхідно вжити, щоб спроектувати найбільш безпечну конструкцію кузова автомобіля.

Завдання проведення теоретичних досліджень у наш час значною мірою реалізується на обчислювальних машинах на базі програмних комплексів LS-DYNA, ANSYS, FEMAP в кілька етапів [1-6]. На першому етапі створюються кінцево-елементні моделі (КЕМ): корпусу кузова автомобіля (уточнена на базі оболонкових кінцевих елементів (КЕ)) та основних агрегатів; готується математичний опис параметрів конструкції (маса, товщини та ін.); проводиться оптимізація сітки КЕ для досягнення найбільш якісного опису геометрії.

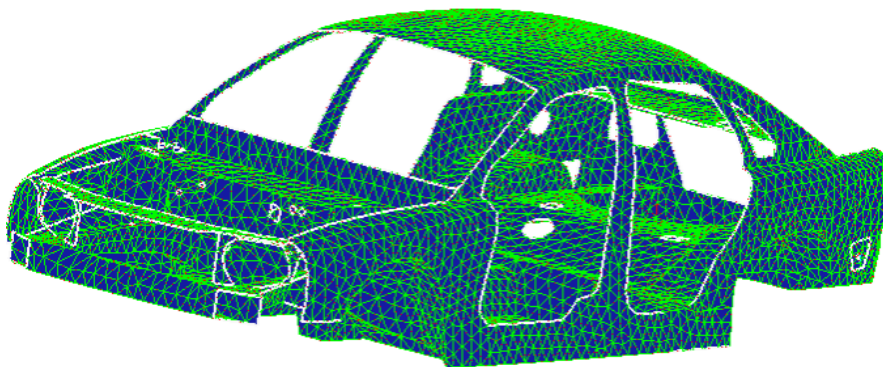


Рисунок 2 – Приклад сітки кінцевих елементів поверхні кузова автомобіля, отриманої на основі спрощених даних 3D-моделі

На другому етапі здійснюється попереднє рішення складеної моделі з базовими параметрами. За результатами розрахунку оцінюються максимальні переміщення основних елементів конструкції, залишковий життєвий простір і проводиться аналіз поведінки лонжеронів, стійок, двигуна, агрегатів трансмісії тощо, виявляються найпіддатливіші ділянки конструкції – ініціатори деформацій; пропонується оцінити розрахункове прискорення

центру мас голови манекена (один з основних оцінювальних параметрів згідно з правилами випробувань), яке також опосередковано характеризує загальну жорсткість кузова.

Третій етап – це внесення змін до конструкції кузова автомобіля в разі, якщо енергоємність конструкції недостатня або якщо не задовольняються основні вимоги правил з оцінки пасивної безпеки.

Четвертий етап – розрахунок доопрацьованої моделі та оцінка результатів. На її основі робиться висновок про загальну жорсткість і замкнутість силової схеми кузова, а також про відповідність усіх параметрів вимогам правил випробування. У разі достатньої жорсткості конструкції та відповідності регламенту, проводиться розрахунок на базі КЕМ вищого рівня, в якій більш детально змодельовані особливості конструкції, і робиться остаточний висновок.

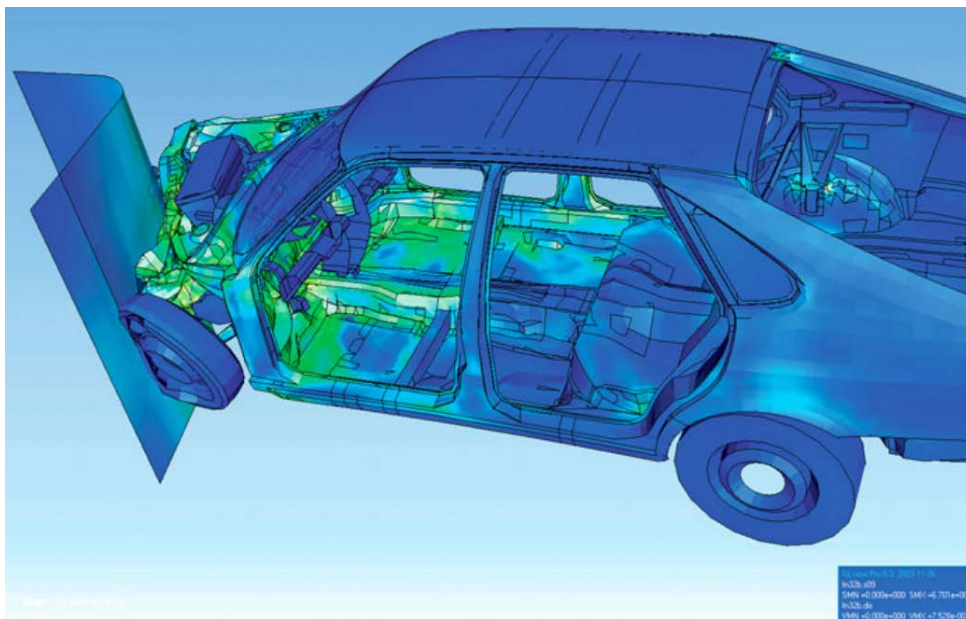


Рисунок 3 – Приклад візуалізації деформації кузова автомобіля при аварії, за допомогою методу кінцевих елементів

### III. ВИСНОВКИ

Незалежно від типу використовуваного програмного комплексу та наявних обчислювальних потужностей, результати теоретичних досліджень надалі необхідно перевіряти і підтверджувати натурними випробуваннями, але все ж таки одним із найважливіших етапів роботи є саме розроблення раціональних кінцево-елементних моделей автомобіля загалом, стосовно оцінки пасивної безпеки відповідно до вимог стандартів, з урахуванням особливостей конструкції, оцінювання отриманих результатів розрахунків із позицій похибок і трудовитрат на розроблення та розв'язання кінцево-елементних моделей.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Hallquist J. LS-Dyna Keyword User's Manual. Livermore, USA, Livermore Software Technology Corporation, 1993-2003. 2206 p.
- [2] Federal Motors Vehicle Safety Standard 301 (FMVSS). N.Y. (USA), National Highway Safety & Traffic Administration (NHTSA), 2003. 56 p.
- [3] BoisduP. Vehicle crashworthiness and occupant protection. American iron and steel institute, Southfield (Michigan), 2004, 16 p.
- [4] Trylend T. Alternative models of the offset and side impact deformable barriers, 9th European LS-DYNA user conference, Raufoss (Norway), 2008, pp.24–39.
- [5] Nilakantan G., TabieiA. Computational assessment of occupant injury caused by mine blasts underneath infantry vehicles. Int. J. Vehicle Structures & Systems, 2009, vol.2, pp. 50–58.
- [6] Nilakantan G. Design and development of an energy absorbing seat and ballistic fabric material model to reduce crew injury caused by acceleration from mine. IED Blast. Master's Thesis, University of Cincinnati, 2006, 12 p.

# Аналіз пошкоджень обладнання тягового рухомого складу

Сергій Бобрицький

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
м. Харків, Україна*

Андрій Сумцов, Олександр Анацький

*Український державний університет залізничного транспорту  
м. Харків, Україна*

Ірина Гришина, Євген Бабенко

*Харківський фаховий коледж транспортних технологій  
м. Харків, Україна*

## I. ВСТУП

На теперішній час більша частина тягового рухомого складу (ТРС) експлуатуються за межами нормативно встановленого терміну експлуатації, Враховуючи повільний темп оновлення рухомого складу актуальними стають дослідження, спрямовані на виявлення найбільш вразливих елементів конструкції ТРС та підвищення їх надійності.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження пошкоджень та несправностей окремих вузлів та агрегатів рухомого складу достатньо докладно висвітлені в роботах [1 - 8]. Однак, доцільним є проведення комплексного аналізу пошкоджень обладнання ТРС.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В результаті дослідження було проаналізовано несправності та пошкодження обладнання приписного парку локомотивних депо «Харків-Головне» та «Основа», що призвели до непланових ремонтів.

До основних груп пошкоджень електровозів депо «Харків-Головне» можна віднести наступні (рисунок 1): тягові електричні двигуни (ТЕД) – 48 % від загальної кількості пошкоджень, механічне обладнання – 41 %, електричні апарати та допоміжне обладнання – по 5 %, інше – 1 %. Розглянемо найбільш поширені з них.

Серед пошкоджень ТЕД були виявлені наступні: розбандажування обмотки якоря; прогари та пробої ізоляції обмотки якоря; відвертання гайки валу якоря; люфт повідця внутрішнього та зовнішнього карданного приводу; перекидання по колектору; пробої основних та додаткових полюсів; люфт якоря та биття колектора.

До пошкоджень механічного обладнання було віднесено: пошкодження елементів тягового редуктора; послаблення бандажів колісної пари; злам буксових, кузовних та пружин фрикційного апарату; протікання буксового стакану; руйнування сепараторів опорно-вісьового та буксового підшипників; провертання обойми опорно-вісьового підшипника колісної пари; деформація тяг важільної гальмової передачі; тріщини рами візка; зноси та задири шийки вісі колісної пари.



Рисунок 1 – Розподіл пошкоджень обладнання приписного парку електровозів депо «Харків-Головне»

Виявлені несправності електричних апаратів: перегорання шунта контактора кулачкового групового перемикача; перегорання фехрелевих елементів пуско-гальмівних опорів; пробіи вілітового розрядника, ізолятора дахового вентилятора, ізоляції індуктивного шунта; злам стінки дугогасильної камери контактора; підгоряння блокувальних та силових контактів; злам елементів струмоприймача.

По допоміжному обладнанню виявлено: руйнування якірного підшипника генератора струму управління; затирання крильчатки двигуна генератора струму управління; пробій ізоляції обмотки якоря двигуна компресора, вентилятора; міжвиткове замикання ізоляції обмотки якоря двигуна компресора, вентилятора; пробій ізоляції головного полюсу двигуна вентилятора; розбандажування обмотки якоря двигуна компресора

Серед інших несправностей були: зноси штоків кузовних гідравлічних гасителів коливань, коротке замикання міжсекційних кабелів; пошкодження кузова електровоза; деформація шляхоочисника.

Пошкодження обладнання тепловозів депо «Основа» розподілились у такому співвідношенні (рисунок 2): дизель – 49%, допоміжне обладнання – 26 %, електрообладнання – 10 %, колісні пари – 4 %, моторно-вісьові підшипники – 1 %, інше обладнання – 10 %.

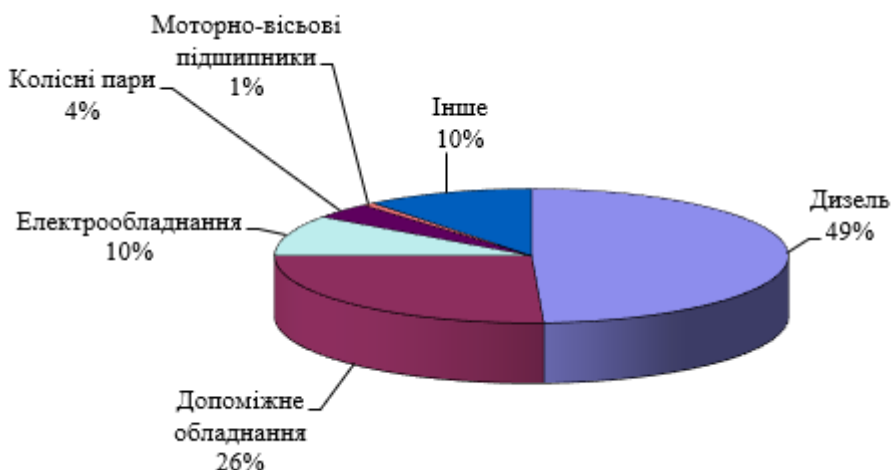


Рисунок 2 – Розподіл пошкоджень обладнання приписного парку тепловозів депо «Основа»

Непланові ремонти дизелів пов'язані з пошкодженнями: колінчастих валів, шатунно-поршневої групи, повітрянагнітачів, паливної апаратури.

Пошкодження допоміжного обладнання включають пошкодження системи повітряного охолодження тягових двигунів, компресорів, насосів, трубопроводів,

Ремонти електричного обладнання пов'язані з пошкодженнями ТЕД (міжвитковим замиканням в обмотках та руйнуванням якірного підшипника), електричних ланцюгів (пошкодження ізоляції кабелів та електропроводки), акумуляторних батарей та електроапаратури.

Несправності колісних пар пов'язані із зносом та пошкодженням бандажів, колісних центрів та осей.

До групи інших пошкоджень включені пошкодження ударно-тягових пристроїв, рам візків, ресорного підвішування, букс тощо.

#### IV. ВИСНОВКИ

Проведений аналіз пошкоджень обладнання ТРС дозволяє визначити перспективні шляхи підвищення надійності рухомого складу в експлуатації загалом, так і окремих складових елементів його конструкції.

В контексті електровозів, перспективними шляхами підвищення надійності можуть бути: впровадження систем моніторингу в режимі реального часу для відстеження стану критичних компонентів електровозів (тягові двигуни та механічне обладнання); модифікація конструкції ТЕД електровозів з метою підвищення стійкості до механічних, електричних та інших типів пошкоджень; удосконалення системи охолодження, ізоляції та захисту від зовнішніх факторів; використання високоякісних і міцних матеріалів для виробництва компонентів електровозів може збільшити їх довговічність.

При виконанні ремонтів тепловозів необхідним є використання якісних запасних частин та виконання ремонтів з дотриманням технологічних вимог

Впровадження цих перспективних шляхів дозволить суттєво підвищити надійність експлуатації електровозів та тепловозів, що дозволить збільшити ефективність роботи залізничного транспорту.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Надійність і діагностика електрообладнання: Підручник / О.В. Губаревич. – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 248 с.
- [2] Тарасюк В. М., Балійчук О. Ю., Мельник Т. М. Підвищення ресурсу тягових двигунів електровозів і електропоїздів. Залізнич. трансп. України. 2020. № 2. С. 44–48. DOI: 10.34029/2311-4061-2020-135-2-44-48.
- [3] Тягові передачі електрорухомого складу: Навчальний посібник. / Г. К. Гетьман, С. М. Голік. – Дніпро: Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс», 2020.- 260 с.
- [4] Вибір методів діагностування допоміжних електричних машин електровозів постійного струму. А.Л. Сумцов, Н.Д. Чигирик, М.В. Павлюченков, В. В. Калініченко. // Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2018, вип. 180. – С 19 – 25.
- [5] Жалкін, Д. С. Методи післяремонтних випробувань та моніторингу технічного стану тягових двигунів електровозів / Д. С. Жалкін, О. М. Тимченко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 130-134.
- [6] Дацун Ю.М. Визначення порядку діагностування буксових вузлів електровозів на основі даних про їх пошкодження в експлуатації / Ю.М. Дацун, Г.О Колесніченко // Зб. наук. праць Укр. держ. універ. залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 152. Том 2– С. 16-20.
- [7] Бобрицький С.В. Діагностика стану зубчатих передач рухомого складу /С.В. Бобрицький, О.О.Анацький, Д.Є. Петрищев, А.М. Плахін// Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології засобів транспорту» Харків-Миргород 23-24 вересня 2021 р. - Харків: УкрДУЗТ, 2021. – С.110-111.
- [8] Анацький О. О. Шляхи удосконалення технології ремонту дизельного двигуна тепловоза / О. О. Анацький, Ю. Д. Дрига, В. О. Лисенко, Ю. М. Музичук, О. М. Озмитель// Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 22–23 листопада 2023 р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – С 109-110.

# Удосконалення процесів перевезень вантажів шляхом формування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів

Денис Ломотько, Олександр Нестеренко

*Український державний університет залізничного транспорту  
м. Харків, Україна*

## I. ВСТУП

Залізничний транспорт є основою транспортної системи нашої країни й тому вважається одним з найважливіших секторів економіки. З урахуванням розташування внутрішніх промислових центрів та статусу України як транзитної держави, залізнична галузь має великий потенціал та вплив на підвищення економічної ефективності національної економіки. Серед всіх видів транспорту залізничний має певні переваги, тому він успішно застосовується в процесі вантажних та пасажирських перевезень. В складних умовах воєнного стану перед транспортною галуззю постає завдання формування нового підходу до процесів перевезень вантажів шляхом застосування нових логістично-орієнтованих технологій. Це обумовлює один із стратегічних напрямів трансформації вітчизняної транспортної логістики - формування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Наукові роботи та дослідження у сфері розробки і впровадження логістичних та ресурсозберігаючих технологій у перевізний процес мають велике значення для всіх учасників перевізного процесу та залізничної галузі. АТ Укрзалізниця має відповідний потенціал та повинна стати ініціатором і засновником формування національної макрологістичної системи і зокрема її головного та регіональних логістичних центрів. Це дозволить галузі зайняти провідну і домінуючу роль у управлінні вантажопотоками у масштабах всього транспортного комплексу країни [1]. Перспективним є підвищення ефективності залізничних перевезень за рахунок впровадження контейнерних та контрейлерних перевезень [2], у тому числі – при широкому застосуванні можливостей окремих транспортних компаній, що здійснюють перевезення масових, зернових, контейнерних та гуманітарних вантажів [3].

Введення воєнного стану в Україні широко розглядається як поворотний момент для європейської економіки, транспортної політики та безпеки, що у повоєнний період закріпить геополітичне відновлення нашої країни та її інтеграцію до транспортної системи ЄС [4]. Дослідження [5] визначило напрямки можливих змін у світовій економіці під впливом конфлікту. По-перше, підвищення цін на сировину, побутові товари, продукти харчування та енергоносії підштовхнуть інфляцію, що вплине на попит й призведе до зниження доходів перевізників у процесі перерозподілу логістичних потоків. По-друге, економіки країн ЄС особливо постраждають від перебоїв у торгівлі, ланцюгах постачання та грошових потоків. По-третє, зниження ділової впевненості та зростання невизначеності на ринку можуть чинити тиск на інвесторів та транспортні тарифи, що може призвести до жорсткіших фінансових умов розвитку транспортної інфраструктури і стимулюватиме відтік капіталу з ринків логістичних послуг. Уникнути більшості цих негативних тенденцій можливо за допомогою упорядкування та раціоналізації розподілу вантажо- та поїздопотоків на шляху від виробника до кінцевого споживача при формуванні виробничо-транспортних логістичних ланцюгів за участю залізниць.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На частку залізничного транспорту припадає близько 45% перевезень вантажів у внутрішньому сполученні, та близько 80% вантажоперевезень, які здійснюються у процесі інтеграції виробників з різних регіонів до країн ЄС. Невід'ємною частиною системи управління транспортним процесом залізниць має стати багаторівнева національна структура логістичних центрів, діяльність яких спрямовано на підтримку функціонування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів із перевезення широкої номенклатури вантажів.

Виробничо-транспортні логістичні ланцюги - це система, що складається з елементів (логістичних центрів, терміналів, портів, пунктів пропуску, виробничої, транспортної та інформаційної інфраструктури тощо), які перебувають у функціональному взаємозв'язку між собою, мають певні обмеження щодо власних техніко-технологічних можливостей та утворюють єдність для досягнення синергетичного ефекту у процесі доставки вантажів [6].

Технологія функціонування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів повинна базуватися на наступних принципах:

- вивчення та вплив на ринки виробництва та збуту масових, зернових та контейнерних вантажів як у межах України, так і за її кордоном, що необхідно для зменшення технологічної невизначеності у транспортній системі;
- реалізація доставки вантажу у межах логістичного ланцюга та управління процесом транспортування широкої номенклатури вантажів;
- створення ефективного логістичного ланцюга від виробника до споживача за участю всіх необхідних видів транспорту, перевізників, мультимодальних операторів та допоміжних установ;
- прозора та повна відповідальність організатора перевезень за надійну реалізацію виробничо-транспортних логістичних ланцюгів на всьому шляху прямування вантажу будь-якими видами транспорту.

Логістична система залізничного транспорту безпосередньо охоплює всі сфери виробництва та споживання, і таким чином сприяє зменшенню виробничих запасів сировини, матеріалів, комплектуючих та напівфабрикатів. Застосування принципу синергії на залізничному транспорті передбачає самоорганізацію на кожному етапі виробничого процесу. З метою забезпечення відшкодування витрат на відбудову або створення логістичної інфраструктури оцінюються процедури оптимізації графіка доставки вантажу з повним урахуванням принципу логістики "точно в строк" для забезпечення збереження вантажу в пункті призначення, у разі затримок у процесі обробки замовлення (зокрема на міждержавних прикордонних переходах), під час транспортування, при виконанні вантажних операцій або через організаційні неузгодженості.

Місцем взаємодії залізниць в межах виробничо-транспортних логістичних ланцюгів з іншими видами транспорту є транспортно-логістичний вузол:

- вузли з'єднання залізниць й водних шляхів (морські та річкові);
- прикордонні вузли, завданням яких є безперешкодний перетин державних кордонів, включаючи зміну ширини залізничної колії;
- точки стику залізничного та автомобільного транспорту;
- логістичні центри типу "сухий порт", які зазвичай розташовані поблизу великих промислових або адміністративних центрів;
- промислові залізничні вузли.

Наявність транспортно-логістичних вузлів вимагає сформувані вимоги до їх технічного, технологічного, інфраструктурного та інформаційного забезпечення. Це можливо реалізувати шляхом створення «типових» рішень під кожен технологічну задачу, з яких буде сформовано остаточний вигляд та наповнення транспортно-логістичного вузла.

Враховуючи інтереси всіх учасників процесу руху матеріального потоку та перевізників, проблему впровадження логістичних технологій у транспортний процес необхідно вирішувати комплексно на основі системи українських логістичних центрів. Ця

багаторівнева система може мати свою горизонтальну спеціалізацію, наприклад, на зернові вантажі, контейнери, масові вантажі тощо. Для кожного рівня пропонується перелік завдань, що відображають особливості кожного логістичного центру.

#### IV. ВИСНОВКИ

Таким чином, показано, що існуючі транспортні технології недостатньо адаптивні та слабо орієнтовані на споживача транспортних послуг. За цих умов найбільш ефективна організація транспортних процесів на залізницях України та транспортної галузі взагалі має базуватися на використанні логістичних принципів, застосування яких спрямоване на досягнення інтегрального ефекту залізничної галузі як цілісної системи. Запропоновано розробити наукові засади функціонування системи залізничних логістичних центрів та сформувані оновлені функціональні процеси виробничо-транспортних логістичних ланцюгів за участю залізничного транспорту на основі системного підходу. Складні сучасні логістичні системи повинні бути гнучкими із використанням нових інтелектуальних рішень, що пропонується досягти шляхом формування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів за участю залізниць.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Науково-технічні дослідження у галузі транспорту: колективна монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2022. Т 1-2. – 216 с.
- [2] Ломотько Д. В., Красноштан О.М., Новицький Б.О., Охотін Р.І. Підвищення ефективності контейнерних та контрейлерних перевезень залізницею за рахунок інноваційних методів кріплення. Залізничний транспорт України. – 2023. – № 3. – С. 4-11. DOI: 10.34029/2311-4061-2023-148-3-04-11
- [3] Огар, О. М., Ломотько, Д. В., Шелехань, Г. І. І Ломотько, М. Д. Формування системного підходу до організації доставки вантажів залізничною компанією-перевізником регіонального типу. Транспортні системи та технології перевезень, №26, 2023.- с. 61–67. doi: 10.15802/tstt2023/293354.
- [4] Siddi Marco The partnership that failed: EU-Russia relations and the war in Ukraine (2022) Journal of European Integration, 44 (6), pp. 893 - 898, DOI: 10.1080/07036337.2022.2109651
- [5] Zhao X., Duan X., Chang Y.-C. The Impact of War Conflict on Sustainable Shipping: Conference Report (2023) Sustainability (Switzerland), 15 (16), art. no. 12554, DOI: 10.3390/su151612554
- [6] Ломотько Д. В., Примаченко Г. О. Методологічний підхід до формалізації процесу функціонування динамічних мультимодальних транспортних систем. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, №1 (144).-2021.- с. 30-37 DOI: <https://doi.org/10.18664/ikszt.v26i1.229070>

# Метод та система ідентифікації номерних знаків автомобіля

## Назарій Смоленюк

*Хмельницький національний університет  
м. Хмельницький, Україна*

### I. ВСТУП

Завдання розпізнавання автомобільних номерних знаків користується попитом у програмному забезпеченні для контролю в'їзду та виїзду транспортних засобів з території підприємств, паркувань, контролю потоку автотранспорту. Для даної задачі необхідне програмне забезпечення, що може бути розміщене в автосервісах, контрольно-пропускних пунктах, пунктах контролю швидкості [1].

Центральним у цьому дослідженні є спроба вдосконалити технологію, що лежить в основі розпізнавання автомобільних номерних знаків, спираючись на обробку зображень і алгоритми розпізнавання символів. Прийнята методологія передбачає формулювання алгоритму, розробленого для вирішення проблем, пов'язаних із умовами поганої видимості, такими як похиле розміщення номерів або затемнені межі табличок. Розробка цього алгоритму доповнюється створенням програмного забезпечення, готового використовувати його можливості.

### II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У роботі [2] описана структура глибокого навчання, що базується на дослідженні згорткових нейронних мереж (CNN), які є ключовими в задачах розпізнавання зображень. Дослідження заглиблюється в складну роботу *caffe*, сприяючи прийому даних, навчанню моделі та висновку. Крім того, розроблено оптимізовану конфігурацію *caffe*, адаптовану до конкретних вимог завдання, що підвищує її ефективність і доступність. Ця оптимізована установка використовує економічно ефективні, але надійні компоненти, забезпечуючи практичність без шкоди для продуктивності.

Також у статті [2] корисність CNN у поєднанні з *caffe* досліджується у сфері класифікації зображень, особливо зосереджуючись на ідентифікації об'єктів. Дослідження ретельно оцінює переваги цієї комбінації, підкреслюючи її досконалість у розрізненні складних візуальних візерунків.

Основними функціональними блоками CNN є згорткові шари. Згортковий шар складається з набору навчальних фільтрів (ядер), які рухаються по вхідному зображенню, виконуючи поелементне множення та підсумовуючи результати для створення карт функцій.

У статті [3] описані згорткові нейронні мережі. У першій частині автор пояснює, чому згорткові нейронні мережі краще підходять для обробки зображень, ніж стандартні нейронні мережі. Згорткові нейронні мережі використовують фільтри для вилучення ознак із зображень. Операція фільтрації полягає в накладанні фільтра на зображення, множенні відповідних елементів та підсумовуванні добутоків. Це зменшує розмір зображення, але захоплює важливі деталі.

На основі дослідження та вивчення статті [1] та у результаті проведеного аналізу було вирішено реалізувати розпізнавання символів за допомогою *Caffe*: для розпізнавання символів використовуватиметься *Caffe*, структура глибокого навчання. *Caffe* підтримує різні типи машинного навчання, які націлені в основному на вирішення задач сегментації та класифікації зображень. *Caffe* забезпечує згорткові нейронні мережі, довгу короткострокову пам'ять та пов'язані нейронні мережі. Зокрема, буде розгорнуто навчальну модель нейронної мережі, здатну розпізнавати символи з сегментованих зображень.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для досягнення поставленої мети виконано наступні завдання – досліджено методи розпізнавання тексту на зображеннях, розроблено алгоритм для розпізнавання номерних знаків автотранспортних засобів за умов слабкої видимості, розроблено програмне забезпечення, що використовує цей алгоритм.

Алгоритм процесу розв'язання задачі розпізнавання автомобільних номерних знаків у загальному вигляді може бути представлений простою блок-схемою з послідовністю кроків, показаних на рисунку 1.



Рисунок 1 - Алгоритм розпізнавання номерних знаків.

На рисунку 2 зображено діаграму компонентів програмного забезпечення.

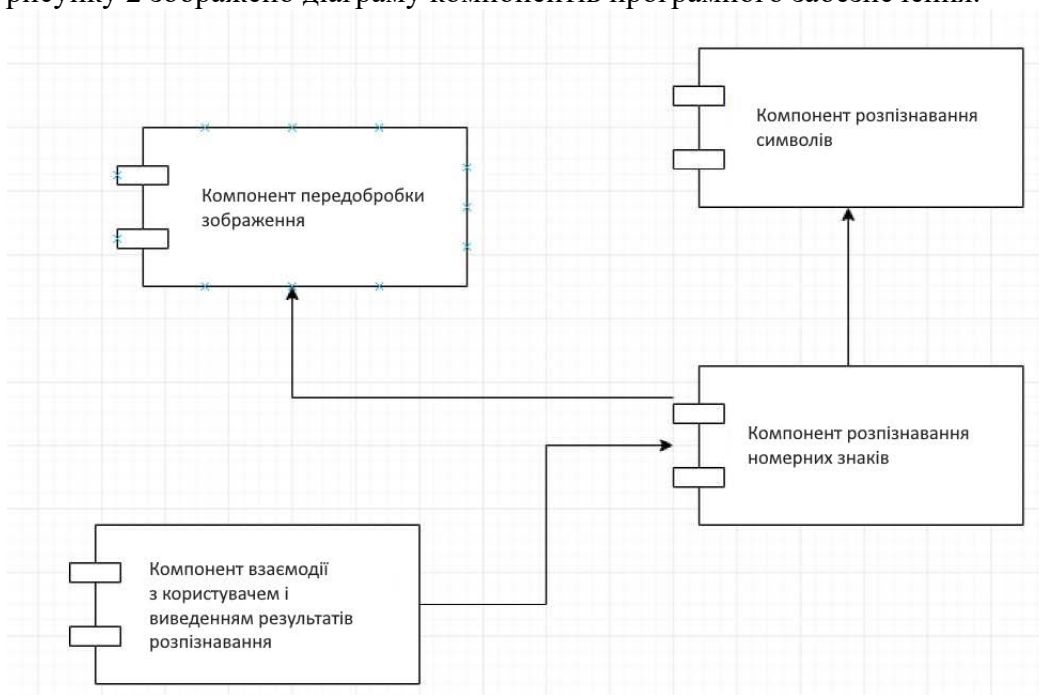


Рисунок 2 - Діаграма компонентів програмного забезпечення.

Розроблене програмне забезпечення містить чотири компоненти - компонент взаємодії з користувачем та виведення результатів розпізнавання, компонент розпізнавання номерних знаків, компонент попередньої обробки зображення, компонент розпізнавання символів.

Процес проектування архітектури програмного забезпечення полягає в проектуванні структури всіх його компонентів, функціонально пов'язаних з розв'язуваною задачею, включаючи поєднання між ними і вимоги до них.

Центральним у проектуванні архітектури програмного забезпечення є принцип модульності, який виступає за декомпозицію складних систем на керовані цілісні модулі. Розбиваючи систему на окремі компоненти, кожен з яких відповідає за певний набір функціональних можливостей, дизайнери сприяють багаторазовому використанню, зручності обслуговування та масштабованості. Цей модульний підхід не тільки спрощує процес розробки, але й підвищує гнучкість і розширюваність системи програмного забезпечення, забезпечуючи плавну адаптацію до мінливих вимог і технологічних ландшафтів.

На рисунку 3 зображено результат роботи програмного забезпечення.

```
License Plate Recognition Result:
-----
Recognizing the license plate...
Recognized License Plate: AT 9546 BC
Time spent on recognition: 0.3 seconds
```

Рисунок 3 - Результат розпізнавання номерної пластини.

В результаті розроблено програмне забезпечення для розпізнавання номерних знаків, яке розпізнає автомобільні номерні знаки з точністю до 90%. У середньому розпізнавання відбувається за 0,3 секунди.

Розроблене програмне забезпечення з доопрацьованим алгоритмом показало кращий результат, ніж із початковим алгоритмом.

#### IV. ВИСНОВКИ

Після теоретичного аналізу було розроблено алгоритм розпізнавання автомобільних номерів мовою програмування C++ з використанням бібліотеки OpenCV для попередньої обробки зображення та бібліотеки Caffe для розпізнавання символів. Оскільки алгоритм мав низку недоліків, було вирішено його удосконалити. Удосконалення алгоритму базувалося на результатах пошуку номерної пластини на зображенні автомобіля, пошуку меж автомобільного номера, трансформацію зображення і розпізнавання за допомогою згорткової нейронної мережі.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1]. Yangqing Jia, Evan Shelhamer, Jeff Donahue, Jonathan Long, Ross Girshick, Sergio Guadarrama, Trevor Darrell. Caffe: Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding. [Електронний ресурс] URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2647868.2654889> (дата звернення: квітень 2024р.)
- [2]. Ivars Nematēvs. Deep Convolutional Neural Networks: Structure, Feature Extraction and Training. [Електронний ресурс] URL: <https://itms-journals.rtu.lv/article/view/itms-2017-0007> (дата звернення: квітень 2024р.)
- [3]. Сергій Матвієнко. Згорткові нейронні мережі. [Електронний ресурс] URL: <https://itmaster.biz.ua/programming/vision/cnns1.html> (дата звернення: квітень 2024р.)

# Поліпшення рівня безпеки руху поїздів шляхом ефективною експлуатації гальмових систем пасажирських вагонів

Василь Равлюк, Ярослав Дерев'янчук

*Український державний університет залізничного транспорту  
м. Харків, Україна*

## I. ВСТУП

За останні роки стан гальмового обладнання рухомого складу в АТ «Укрзалізниця» істотно погіршився й став суттєвим макроекономічним фактором, який стримує збільшення обсягів перевезень на регіональних філіях залізниці й підвищує їх собівартість.

Гальмування залізничного рухомого складу є дуже складним процесом і має велике значення для безпеки руху. Ця складність з'являється через виникнення багатьох подій у механічних, електричних, теплових, пневматичних та інших системах гальм під час експлуатації. Багато проблем із залізничним транспортом виникає через несправність гальмової системи [1]. Таким чином перед залізничним транспортом постає актуальне завдання щодо поліпшення рівня безпеки руху поїздів.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На залізницях світу найбільше розповсюдження отримали автоматичні пневматичні гальма. Однак для підвищення ефективності гальмування застосовують електропневматичні гальма (ЕПГ), головна перевага яких пов'язана з практично миттєвим розповсюдженням електричних сигналів управління гальмами, що зменшує поздовжньо-динамічні зусилля та гальмовий шлях за рахунок одночасного спрацювання гальм в усіх вагонах поїзда [2].

Для поліпшення рівня безпеки руху пасажирських поїздів і розробки системи діагностування гальм проаналізовано пневматичні та електричні сигнали, які здійснюють управління гальмами пасажирського рухомого складу [3, 4]. Під час пневматичного способу, управління, гальмування здійснюється шляхом зміни величини тиску повітря в магістральному повітропроводі поїзда відносно попередньо встановленого зарядного тиску. А при електричному управлінні пневматичним гальмом, величина гальмової сили пропорційна часу дії електричного сигналу для гальмування.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Запропоновано у пневматичну мережу пасажирського вагона встановити датчики, які під час рейсу поїзда реєструють такі параметри: Д1 – тиск в гальмовому циліндрі (ГЦ), Д2 – тиск в гальмовій магістралі (ГМ) і Д3 – напругу електроповітроподільника (ЕПР) [5, 6]. Отриманий сигнал оцифровується, виконується аналіз за технологією функціональної діагностики, формується звіт про технічний стан гальмової системи вагона, який передається на бортовий і наземний пости контролю. Запропонована схема розташування датчиків на пасажирському вагоні наведена на рисунку 1.

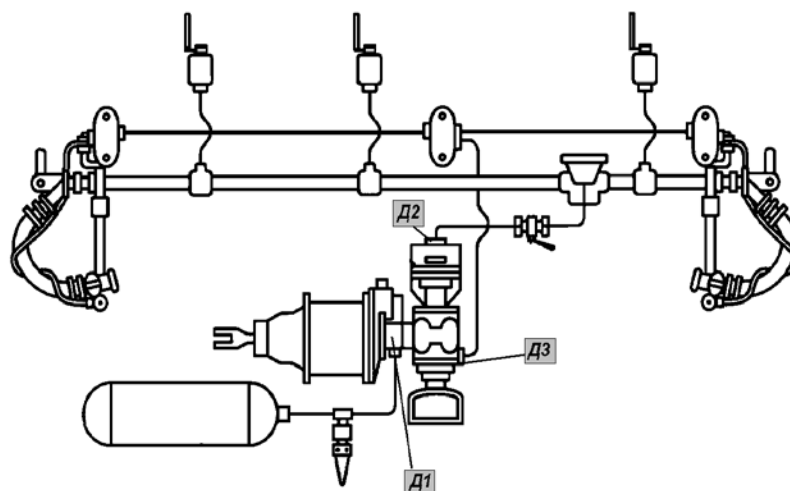


Рисунок 1 – Гальмова система пасажирського вагона: Д1 – датчик тиску у ГЦ; Д2 – датчик тиску у ГМ; Д3 – датчик напруги на вході ЕПР 305-000

**Зарядження запасного резервуара та попуск ГЦ.** Виконується за умови наявності на вході повітророзподільника 305-000 сигналу «Попуск» (~50 В) на вході електроповітророзподільника. На цьому етапі запасний резервуар (ЗР) з'єднується з ГМ через 3 отвори діаметром 1,25 мм кожен, а ГЦ з'єднується з атмосферою через отвір з площею поперечного перерізу 18 мм<sup>2</sup>. Відповідно до [3] попуск ГЦ до тиску 0,14 МПа повинен відбуватися за час 9-12 с, зарядка ЗР від тиску 0,5 МПа до 0,55 МПа повинна виконуватися за 15-25 с. Спрощену пневматичну схему роботи обладнання наведено на рисунку 2.

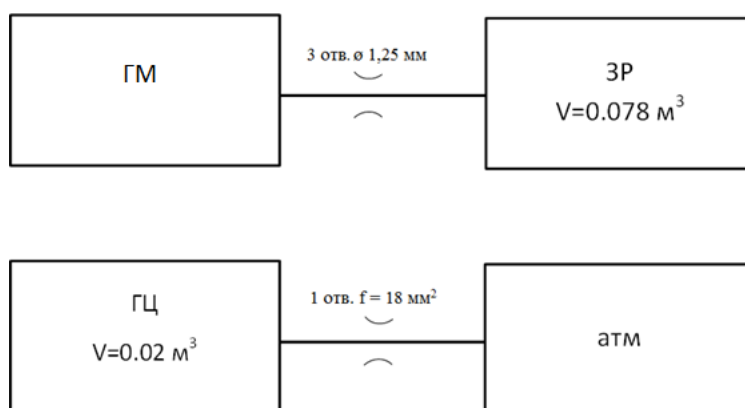


Рисунок 2 – Спрощена пневматична схема роботи «зарядження» та «попуску»

**Гальмування, зарядження ЗР та наповнення ГЦ.** Виконується за умови наявності сигналу «Гальмування» (+50 В) на вході електроповітророзподільника. Режим роботи гальмового обладнання пасажирського вагона наведено на рисунку 3.

За умови цього режиму ЗР з'єднується з ГМ через 3 отвори діаметром 1,25 мм кожен; ГЦ з'єднується з ЗР через отвір діаметром 5,5 мм, робоча камера (РК) з'єднується з ЗР через отвір 1,8 мм. РК з'єднується із ГЦ через пневмореле, завдяки якому вона регулює тиск у пневмоциліндрі. Наповнення ГЦ при повному службовому гальмуванні до тиску 0,4 МПа відповідно до [3] повинно відбуватися за  $3^{\pm 0,5}$  с.

**Перекриття, зарядження ЗР та підтримання тиску в ГЦ.** Цей режим виконується за наявності на вході ЕПР сигналу «Перекриття» (-50 В). Спрощену пневматичну схему роботи обладнання наведено на рисунку 4. На цьому режимі ЗР з'єднується із ГМ через 3 отвори діаметром 1,25 мм кожен, а РК та ГЦ роз'єднані з запасним резервуаром й атмосферою.

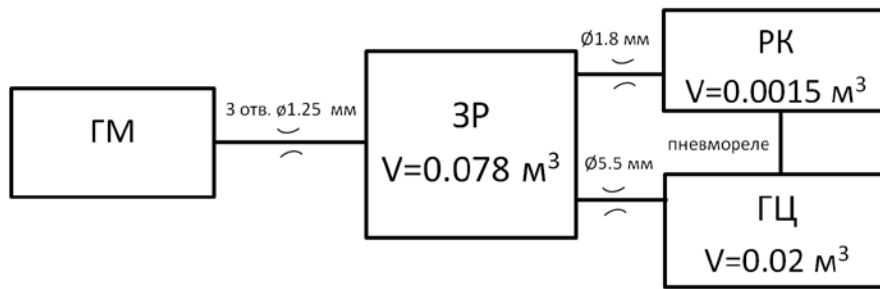


Рисунок 3 – Спрощена пневматична схема режиму «Гальмування»

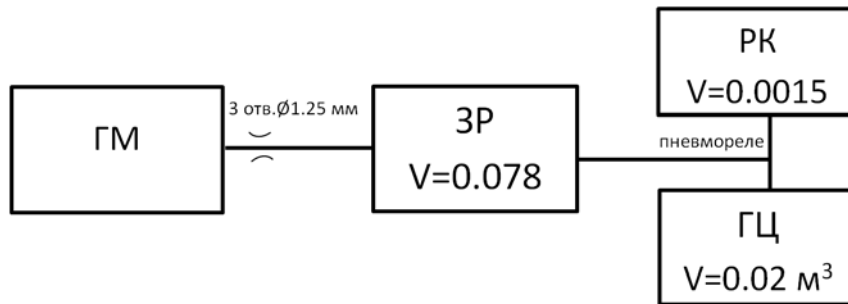


Рисунок 4 – Спрощена пневматична схема режиму «Перекриття»

Контроль пневматичної схеми в режимі «Перекриття» показує характеристики роботи гальм пасажирського рухомого складу під час гальмування і дає можливість слідкувати за відхиленням часу та тиску для визначення працездатності гальмових систем пасажирських вагонів.

#### IV. ВИСНОВКИ

У майбутньому на підставі наведених схем буде розроблено математичну модель, яка дасть змогу відтворити процеси, що відбуваються під час роботи справного ЕІР. Це дасть можливість розробити систему діагностування гальмового обладнання пасажирського вагона й поліпшити рівень безпеки руху пасажирських поїздів на залізничному транспорті.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Brake failures have been a problem for trains — since the 1880s, Bangor Daily News, July 11, 2013. <https://www.bangordailynews.com/2013/07/11/news/brake-failures-have-been-a-problem-for-trains-since-the-1880s/>
- [2] А. М. Бабаєв, Д. В. Дмитрієв. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць : навч. посіб. К. : ДЕДУТ, 2007. 176 с.
- [3] Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України : ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 : затв. наказом Укрзалізниці від 28 жовтня 1997 р. №264-Ц. Київ, 2004. 146 с.
- [4] Правила технічної експлуатації залізниць України. Затв. Нак. УЗ від 20.12.1996. Вид. офіц. Київ, 2002. 133 с.
- [5] Равлюк В.Г., Дерев'янчук Я.В., Афанасенко І.М., Равлюк М.Г. Розробка електронної діагностичної системи для підвищення достовірності діагностування гальм пасажирських вагонів. // Східно-Європейський журнал передових технологій. Харків: 2016. Т. 5, №4. с. 54-60.
- [6] Інструкція з ремонту гальмівного обладнання : ЦВ-ЦЛ-ЦТ-0013 : затв. М-вом трансп. та зв'язку України 25.01.2005. Київ, 2005. 160 с.
- [7] Спосіб дистанційного контролю автоматичних гальм рейкового рухомого складу. пат. України на корисну модель 55429 МПК (2009) В 61 К 9/00 G 015 5/14. № u 201007799; заявл. 21.06.2010; опубл. 10.12.2010. Бюл. №23. 4 с.
- [8] Равлюк В. Г., Дерев'янчук Я. В. Удосконалення діагностичної системи електропневматичних гальм поїздів. Scientific Research and Innovation : Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Internet Conference. (Dnipro, April 18-19, 2024). Dnipro : FOP Marenichenko V.V., 2024. P. 32-34.

# Contemporary challenges of shipping safety

Kostiantyn Kyrychenko, Serhii Zinchenko, Pavlo Nosov,  
Pavlo Mamenko, Vadym Mateichuk

*Kherson state maritime academy  
Kherson, Ukraine*

## I. INTRODUCTION

Maritime transport is an important component of the global economy. A large number of ship accidents occur precisely because of the human factor, namely, the impact of indiscipline on the safe operation of ships. The safety of the ship and the crew depends on how faithfully a person follows the captain's instructions, how he treats the equipment, what his attitude is to risk when maneuvering ships, what his communication with the crew is, what his punctuality, attitude to the execution of instructions is. This study is devoted to the analysis of modern shipping safety challenges and the search for possible ways to solve them.

## II. ANALYSIS OF LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS

In work [1], the main factors that pose a threat to the safety of the ship are defined, regulatory documents and the principles of their application are analyzed to ensure the monitoring of the safety of the ship. It has been established that taking into account the individual factors of the human factor is necessary, as it will make it possible to reduce the number of navigation accidents in the world. In the article [2], a study of the existing relationships and various factors and concepts used in ship and company safety management systems, as well as definition of goals and objectives, which must be solved in the process of functioning of safety management systems, is carried out. It was established that the values of the parameters of the effectiveness of ship safety management systems are affected by technical, organizational, social and other factors, but their change has a general pattern, which can be determined by the probability of the absence of inconsistencies in the company's safety management systems. The study [3] examines the problem of shipping safety in the aspect of protecting human life. It has been established that the main causes of accidents on sea and river transport are violations of legal requirements, wear and tear of ship components and mechanisms, erroneous actions of captains and crews, insufficient experience and professional training of the crew, underestimation of weather conditions, force majeure circumstances.

## III. PRESENTING MAIN MATERIAL

One of the threats to shipping safety is climate change. This affects the safety of shipping by increasing the intensity of natural phenomena such as hurricanes, showers and storms, which can lead to accidents and sinking of ships. Lower water levels in rivers cause significant economic damage to all aspects of inland waterway transport. This especially applies to navigational and hydrographical safety of shipping. Among the measures and strategies to reduce the negative impact is the development and improvement of the uninterrupted operation of systems for monitoring changes in the parameters of the shipping course and the prompt notification of such changes to all vessels sailing the rivers.

Military conflicts and terrorism also pose a serious threat to shipping security. Military conflicts and acts of terrorism in maritime waters pose a serious threat to the safety of shipping. The greatest danger at present is russian aggression, as a result of which the possibility of free navigation in the waters of the Black Sea is blocked. Ukrainian ports were also shelled, some of them are inaccessible.

Piracy, hijacking, and attacks on merchant ships can result in life-threatening damage to crew members, property damage, and disruption of global trade.

In the first half of 2023, the number of recorded pirate attacks on ships compared to the same period last year increased by 12% to 65 cases. 90% of attacks were successful for pirates. Two ships were captured, pirates managed to get on board 57 ships, in four cases the attacks were repelled. As a result of the attacks, 36 sailors were taken hostage, 14 were stolen, three were threatened, two were wounded and one was beaten. According to the IMB, the Gulf of Guinea saw an alarming increase in the number of maritime incidents in the first half of 2023, with 5 incidents in the first quarter and 9 in the second. Of these, 12 were classified as armed robberies and two as pirate attacks on ships at anchor. 14 sailors were stolen, 8 of them were victims while the ships were at anchor. In addition, as a result of the hijacking of two different vessels, 31 crew members were held hostage by pirates, communications and navigation equipment on board these vessels were destroyed, and part of the cargo was stolen. There is also an increase in risks in the Singapore Strait. Although attacks on large vessels transiting the Singapore Strait are considered petty crimes of an occasional nature, such attacks continue to occur and pirates are often able to board, with a 25% increase in reported incidents in these waters compared to the same period last year. The IMB expresses concern and calls on coastal states to commit the necessary resources to combat piracy, as seafarers continue to be exposed to risk, including threats of weapons, which have occurred in at least eight incidents [4].

The number of digital devices on board using the Internet continues to grow, creating new cyber security threats. Cybercriminals can attack the ship's control systems, navigation systems and other critical components, which can lead to loss of control of the ship and serious accidents. To protect against this, it is necessary to improve the security of the software against hacking and improve the digital literacy of employees.

Also, a large number of accidents occur due to the human factor, to reduce its influence it makes sense to use automated ship control modules [5] and during training to determine the level of indiscipline of the cadet.

#### IV. CONCLUSIONS

An analysis of modern threats to shipping safety was carried out. They are diverse, namely climate change and environmental issues, military conflicts and terrorism, cyber security and cybercrime, and the human factor. Modern challenges of shipping safety require a comprehensive approach and cooperation between states, international organizations and scientists. It is necessary to improve legal norms and international standards, develop safety technologies and increase education and skills in the field of maritime safety, as well as increase the level of ship automation. To reduce the influence of the human factor, it is necessary to change the approach to teaching methods in maritime educational institutions, to determine the cadet's propensity to risk and the level of his indiscipline.

#### REFERENCES

- [1] Melnyk, O., Bychkovsky, Y. Modern methods of ship safety level assessment and ways of its improvement. *Transport Development*, (2(9), 2021, pp.37-46. doi: 10.33082/td.2021.2-9.03
- [2] Шумілова К. В., Онищенко О. А. Фактори впливу на ефективність функціонування системи безпеки судноплавства. *Slovak international scientific journal*. Bratislava, Slovakia, 42, 1, 2020. С. 31-35.
- [3] Махмурова-Дишлюк О. П. Безпека судноплавства як важлива умова охорони людського життя. Наукові праці Національного авіаційного університету. Серія Юридичний вісник «Повітряне і космічне право. К., 2016. № 3(40). С. 11-16.
- [4] Інтернет джерело: <https://www.blackseanews.net/read/206445>
- [5] S. Zinchenko, O. Tovstokoryi, P. Nosov, I. Popovych, K. Kyrychenko. Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel. *Ships and Offshore Structures*, 2023, Vol. 18, No. 3, pp. 358–364. doi: 10.1080/17445302.2022.2052480

# Особливості застосування принципів управління в судноплавних компаніях

Тетяна Берневек, Валерія Кириллова, Марина Вільшанюк,  
Тетяна Варлан

*Одеський національний морський університет  
м. Одеса, Україна*

## I. ВСТУП

Складно назвати іншу таку сферу господарської діяльності, яка б, як морське судноплавство, охоплювала всю земну кулю і мала таке ж основне значення у формуванні та розвитку міжнародних економічних зв'язків та товарообміну між державами.

У цих тезах проаналізовано організаційну структуру та системи управління, що використовуються в сучасних судноплавних компаніях, які адаптуються до постійно мінливого морського середовища. Детально розглядаються ключові виклики, такі як адаптація до нових технологій, підвищені стандарти безпеки та динамічні економічні умови. Особливий акцент робиться на тонкощах управління інформацією в умовах змінної ринкової кон'юнктури. Розглянуто практичні підходи для вирішення цих викликів та визначає стратегії для підвищення конкурентоспроможності судноплавних компаній. Забезпечуючи глибше розуміння того, як сучасні компанії можуть ефективно реагувати на складні виклики. Підкреслюючи необхідність постійного переходу на нові технології, обговорюється важливість гнучкості для забезпечення конкурентоспроможності в сучасному глобальному ринковому середовищі. Динаміка безпеки та високий ступінь економічної нестабільності надають темі особливого важелю. Зазначається, що успішне управління інформацією стає ключовим фактором у контексті швидкозмінного ринкового середовища, де детальна аналітика та прозорість набувають вирішального значення. Серед основних стратегій підвищення конкурентоспроможності - інтеграція інформаційних систем, розвиток аналітичних інструментів та забезпечення універсальності управлінських рішень. Спеціалізованість управління судноплавними компаніями також відзначається тим, що вона вимагає уваги до деталей та строгого дотримання вимог безпеки. Додатково зазначається, що реактивність в управлінні може призвести до затримок та пропущених термінів, тому необхідно забезпечити системний підхід до контролю і взаємодії між функціональними частинами системи. Висвітлюються труднощі, пов'язані із збереженням консистентної політики та цілей компанії в умовах різноманітності умов роботи флоту. Надається узагальнена стратегія синхронізації дій в структурі менеджменту, наголошуючи на необхідності централізованого контролю та обміну досвідом. Остаточо, визначається роль аналітики та ключових показників ефективності як інструментів для впливу на поведінку екіпажу, підсилених конкурентним духом та ефективною системою підготовки фахівців.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В умовах стрімкого розвитку сучасної судноплавної індустрії виникає необхідність глибокого розуміння організаційних структур та систем управління, які визначають ефективність функціонування судноплавних компаній. Зростання конкуренції, стрімкі технологічні зміни та постійні виклики щодо безпеки та економічних умов роблять актуальним поглиблене вивчення цих питань.

Огляд літератури наводить такі дослідження, пов'язані із забезпеченням ефективності функціонування морського транспорту. Джерело [1] надає важливі вказівки щодо досягнення успіху в оперативному управлінні флотом.

У роботі [2] розглядаються засоби покращення бізнес-процесів у сучасних судноплавних компаніях. Наукові праці [3, 4] аналізуються вплив поліпшення якості інфраструктури порту на рішення вантажовідправників та досліджуються організаційні та управлінські системи турецьких судноплавних компаній. У роботі [5] вивчаються економічні аспекти поліпшення пасажирських перевезень в хорватському морському секторі. У джерелах [6-8] висвітлюються концептуальні принципи управління конкурентоспроможністю морської транспортної інфраструктури України, оцінюються можливості збільшення попиту на технічне обслуговування круїзних судів у Клайпедському морському порту та аналізуються практики управління доставкою та логістикою, які застосовують нігерійські судноплавні компанії. Автори в [9] роблять внесок у поліпшення рефлексії у Сербії щодо судноплавства та логістики, в [10] розглядаються системи поліпшення інтегрованих управлінських процесів у портах. Пропонується модель управління морськими транспортними підприємствами для підвищення їх прибутковості в [11]. У [12] досліджується бізнес-логістика та організація сучасних судноплавних компаній, економічна ефективність судноплавних компаній, зокрема аспекти обліку представлені в [13].

У роботах [14-16] обґрунтовується варіант використання контейнера при проектуванні систем доставки вантажу, розробляються теоретичні основи управління роботою флоту в транспортно-технологічних системах та розглядаються організаційні аспекти транспортування вантажів. Стаття [17] досліджує природу та походження основних проблем безпеки та потенційних загроз для судноплавства, в [18] пропонується метод ймовірнісної оцінки гідрометеорологічних умов та їх вплив на ефективність операцій судна.

Отже, сучасні судноплавні компанії стикаються з комплексом викликів, включаючи адаптацію до новітніх технологій, високих стандартів безпеки та динамічних економічних умов. Їх успіх залежить від ефективності організаційної структури та систем управління, зокрема інтеграції інформаційних технологій, оптимізації бізнес-процесів та стратегічного управління. Важливою є здатність гнучко реагувати на зміни ринкового середовища та постійно вдосконалювати підходи до управління для досягнення конкурентоспроможності.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Структура й організація управління судноплавними компаніями різні й залежать від їхньої спеціалізації та щоденної діяльності. У галузі морського судноплавства немає універсальних структур управління. Проте обов'язки посадових осіб у різних судноплавних компаніях практично ідентичні, незалежно від їхнього титулу і штатного розкладу. Таким чином, структура судноплавної компанії являє собою чітку ієрархію з ясно визначеними обов'язками для кожного виконавця.

У таких компаніях зазвичай існує керівництво, що відповідає за загальне стратегічне управління, яке включає в себе вироблення цілей і політики компанії. Під цим рівнем знаходяться різні відділи і служби, що відповідають за конкретні аспекти операцій. Наприклад, відділи із забезпечення безпеки, технічного обслуговування суден, персоналу та логістики.

Важливим аспектом структури управління є також наявність ясної системи комунікації та звітності між різними рівнями і підрозділами. Це забезпечує ефективну взаємодію та узгодженість дій всередині компанії. Така суворя організаційна структура дає змогу судноплавним компаніям ефективно управляти своїми операціями, забезпечувати безпеку та ефективність, незважаючи на різноманітність спеціалізацій і видів діяльності в галузі морського судноплавства.

У контексті сучасних викликів управління судноплавними компаніями, однією з ключових проблем виступає адаптація організаційної структури та системи управління до змін в галузі. Збереження ефективності та конкурентоспроможності вимагає вирішення питань, пов'язаних із змінами в технологіях, вимогами до безпеки та сталістю економічних умов.

Зокрема, однією із загострених проблем є необхідність постійного вдосконалення систем звітності та комунікації між різними рівнями управління та підрозділами компанії. Збільшена кількість даних, що потребують обробки, а також вимоги до оперативності, ставлять під сумнів традиційні методи управління.

В морегосподарському комплексі, де використання передових технологій визначає успіх операцій, обмін даними між судном і берегом стає ключовим елементом сучасного управління. Незважаючи на постійне вдосконалення засобів зв'язку на судах, пропускна здатність залишається обмеженою, ставлячи перед екіпажем та компаніями нові виклики.

Навіть з технологічними досягненнями у сфері зв'язку на судах, обмежена пропускна здатність вимагає передачі даних у формі пакетів. Запити суден на запчастини, інвентар, та інші ресурси від офісу стають постійним завданням, яке вимагає ефективних та надійних методів передачі.

Важливість безперебійного обміну даними стає очевидною, оскільки будь-які помилки у передачі можуть вплинути на продуктивність суден. Розчарування екіпажу через неправильну передачу даних підкреслює необхідність надійних ліній зв'язку та принципів, що дозволяють самовідновлення у разі помилок.

Найкраща практика вирішення цього виклику - це використання ліній зв'язку та принципів, які є абсолютно надійними та здатними самостійно відновлювати передачу даних. У випадку неправильної передачі пакета, системи ідентифікують проблему і повторно відправляють інформацію для відновлення даних. Враховуючи високу вартість передачі даних, критично важливо стискати дані у найефективніший спосіб. Це забезпечить економію витрат та зробить передачу даних більш доступною для компаній та суден.

Процес навігації і управління судном сьогодні невіддільний від обробки даних, які надає екіпаж. Важливою аспектом є не лише доступність цих даних, але і їхній високий стандарт. Однак, навіть при високій кваліфікації екіпажу, існуючі системи часто спроектовані для досвідчених користувачів ІТ, що ускладнює їхнє використання моряками, які не є фахівцями в цій області.

Тут ключовим викликом стає питання тренування екіпажу, що може бути дорогим і логістично складним завданням. Вартість тренування часто виступає бар'єром для впровадження нових систем або змін у вже існуючих. Для зниження цього бар'єру системи повинні бути максимально простими у використанні та мати можливість самовідновлення. Дотримання рекомендацій від виробників програмного забезпечення, таких як Microsoft, може полегшити користування системами та зробити їх більш доступними для користувачів, що не є фахівцями в області ІТ.

Багато компаній у сфері морських перевезень ставляться до кожного судна як до окремої одиниці, надаючи лише загальні вказівки з обслуговування та інспекції. Такий підхід легко впроваджується, адже багато офіцерів суден віддають перевагу незалежності з мінімальним впливом та контролем з боку головного офісу. Проте існує безліч обмежень цієї стратегії.

Рівень безпеки та обслуговування може варіюватися від судна до судна в рамках окремого флоту, що може призвести до поганої репутації, якщо одне з суден відхиляється від стандартів в неправильному напрямку. Також це ускладнює обмін досвідом між суднами одного флоту та ускладнює адаптацію до вимог.

Синхронізація стратегій в рамках окремого флоту є важливою вимогою, особливо для суден різного віку та з різним рівнем оснащення та обладнання на борту. Для тих компаній, які здатні гармонізувати свою діяльність, існують великі переваги адже легше впроваджувати консистентні політики, аналізувати дані та вносити необхідні корективи. Синхронізація політик є одним з найскладніших завдань, оскільки все більше морських компаній інвестують у досягнення централізованого контролю. Звичайно, системи повинні підтримувати розподіл даних з офісу на судна і мати можливість отримувати зворотний зв'язок. Багато компаній встановлюють політики та цілі для своєї діяльності, однак викликом

є не лише формулювання цих політик, а й перетворення їх у реальну практику та вимірювання ступеня їх виконання на судах.

Інспектори та суперінтенданти, які відвідують судна, часто сприймаються як "поліцейські", що намагаються контролювати та давати вказівки. Однак деякі передові морські компанії використовують аналітику для формування поведінки екіпажу. Ключовим елементом є правильне визначення та вимірювання ключових показників ефективності, які можуть слугувати засобом комунікації та стимулювати певну поведінку. Якщо все зробити правильно, екіпаж можна заохотити до конкуренції з колегами, а не до дотримання простих правил і норм. Деякі приклади демонструють успішну зміну поведінки екіпажу. Завдяки встановленню ключових показників ефективності та вимірюванням, 95% всіх робіт з технічного обслуговування виконуються за планом, а не як незаплановано. Системи повинні надавати аналітику в простий спосіб, який не вимагає проведення повного проекту бізнес-аналізу для визначення нових показників і вимірювань.

Зростання складності та обсягу функцій у системах управління флотом є природнім процесом, але це також може призвести до втрат користувачем орієнтації в тому, що важливо та в якому порядку слід виконувати завдання. За таких умов користувачі можуть втрачати контроль, шукаючи необхідну інформацію в різних джерелах та ризикуючи пропуском чи забуттям необхідних дій. Це не лише призводить до фрустрації, але й може спричинити затримки та пропуск строків. Збереження огляду завдань для пріоритетизації та впевненості у виконанні є важливою практикою, навіть у зростаючому обсязі функціоналу систем управління.

Збільшення кількості функцій в системах управління флотом призводить до того, що такі процеси, як безпека, планове технічне обслуговування та закупівлі, існують як окремі компоненти. Це пов'язано з розрізненим впровадженням та відсутністю інтеграції, оскільки різні функції розробляються незалежно одна від одної. Для досягнення кращих результатів ці процеси слід розглядати як частину інтегрованої системи. Наприклад, травма члена екіпажу через відсутність поручнів має бути відображена в системі безпеки, яка автоматично запускає завдання з технічного обслуговування для усунення проблеми. Впровадження програмних систем, зокрема систем управління судноплавною компанією, потребує структурованого підходу та підтримки зі сторони керівництва. Гнучкість для адаптації до унікальних потреб кожної компанії є критичною, і завдання не завершується після впровадження рішення. Багато судноплавних компаній стикаються з труднощами на етапі підтримки, відчуваючи розчарування через недостатню увагу та підтримку зі сторони постачальника.

#### IV. ВИСНОВКИ

У тезах розкриваються важливі аспекти управління сучасними судноплавними компаніями в умовах мінливого морського середовища. Підкреслюється, що доступ до достовірних і якісних даних стає ключовим фактором успішного функціонування компаній. Підкреслюється важливість інтеграції передових технологій, оптимізації бізнес-процесів і стратегічного управління.

Великим викликом є навчання персоналу та використання систем, розрахованих на користувачів з різним рівнем ІТ-освіти. Зазначається, що простота використання та самовідновлення систем може відіграти ключову роль у подоланні цього виклику. Також підкреслюється необхідність постійного вдосконалення організаційних підходів і гнучкого реагування на зміни в ринковому середовищі для забезпечення успішного функціонування сучасних судноплавних компаній.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Федоренко О. (2020). Як досягти успіху в оперативному управлінні судном. Waitobe. Режим доступу: <https://waytobi.com/ua/blog/top-10-kpi-dlya-upravl%D1%96nnya-f%D1%96nansami.html>

- [2] Dvulit, Zoriana & Tymoshchuk, Olena & Levchenko, Olha. (2021). Improvement of business processes in modern shipping companies in the field of international sea freight transportation. *Management and Entrepreneurship in Ukraine: the stages of formation and problems of development*. 2021. 1-12. 10.23939/smeu2021.01.001.
- [3] Wagner, Natalia & Kotowska, Izabela & Pluciński, Michał. (2022). The Impact of Improving the Quality of the Port's Infrastructure on the Shippers' Decisions. *Sustainability*. 14. 10.3390/su14106255.
- [4] Demirel, Ergun. (2015). A study on the organization and management systems of Turkish shipping companies. *International Journal of Human Sciences*. 12. 51. 10.14687/ijhs.v12i2.3165.
- [5] Brčić, Gordana & Vidučić, Vinko. (2004). Economic Aspects Of Improving The Croatian Maritime Passenger Shipping. *Promet (Zagreb)*. 16. 269-276. 10.7307/ptt.v16i5.603.
- [6] Lokhman, Natalia & Stepanenko, Vladyslav. (2020). Conceptual Principles of Managing the Competitiveness of Ukraine's Maritime Transport Infrastructure. *Modern Economics*. 23. 102-107. 10.31521/modecon.V23(2020)-16.
- [7] Plačienė, Birutė & Valionienė, Elena. (2015). Evaluation of the Possibilities to Increasing of Cruise Shipping Technical Service Demand in Klaipėda State Seaport.
- [8] Omowaiye, Samuel. (2017). MBS4813 Business Transformation Project -Shipping and Logistics Management Practices Adopted by Nigeria Shipping Companies.
- [9] Andrejic, Marko & Ketin, Sonja & Ilić, Đurđijana. (2019). Contribution to the improvement of reflection in Serbia on shipping and logistics of commercial ship. *Vojno delo*. 71. 359-384. 10.5937/vojdolo1904359A.
- [10] Popovic, Doc. Dr Pavle & Orlandic, R.. (2017). Systems for improvement of business integrated management processes in ports. *International Journal for Quality Research*. 11. 113-130. 10.18421/IJQR11.01-07.
- [11] Ocheredko, Olena & Rybakin, Maksym & Khrominska, Tetiana. (2021). MODEL OF MANAGEMENT OF MARITIME TRANSPORT ENTERPRISES TO INCREASE THEIR PROFITABILITY. *Herald UNU. International Economic Relations And World Economy*. 10.32782/2413-9971/2021-39-22.
- [12] Perović, D. & Vukčević, M. & Milošević, D.. (2005). Business logistics and organization of modern shipping company. 52. 109-113.
- [13] Oneshko, Svitlana & Poido, Olena. (2018). Improving the economic efficiency of shipping companies: accounting aspect. 10.25313/2520-2294-2021-10-7592.
- [14] Korol, V. (2018). Обґрунтування варіанта використання контейнера при проектуванні системи доставки вантажу. *Транспортні системи і технології*, 2(32), 175–187. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2018-32-2-175-187>
- [15] Kyryllova O. V. (2017). Teoretychni osnovy upravlinnia robotoiu flotu u transportno-tekhnologichnykh systemakh : dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.22.01 – transportni systemy / Kyryllova Olena Viktorivna ; Odes. nats. mor. un-t. – Odesa, 470 s.
- [16] Korol V.Y. (2018). Organizational aspects of LCL (Less Than Container Load) transportation and their documentation support // *Modern Scientific Researches: International Scientific Periodical Journal*. – Yolnat PE, Minsk, Belarus, 5(1), 49–54.
- [17] Melnyk, O., Onyshchenko, S., Koryakin, K. (2021) Nature and origin of major security concerns and potential threats to the shipping industry. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 113, 145-153. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.113.11>
- [18] Onyshchenko S., Melnyk O. (2021) Probabilistic Assessment Method of Hydrometeorological Conditions and their Impact on the Efficiency of Ship Operation. *Journal of Engineering Science and Technology Review* 14 (6), 132 - 136. <https://doi.org/10.25103/jestr.146.15>

# Важливість та сучасні можливості автоматизації роботи контейнерних терміналів в Україні

Ганна Примаченко, Георгій Пащенко

*Український державний університет залізничного транспорту  
м. Харків, Україна*

## I. Вступ

Вантажні перевезення для країни, на території якої проходять бойові дії, є одним з найбільш важливих чинників, що підтримують її економічний стан та, відповідно, гуманітарну та військову ситуацію. Оптимальним способом доставки вантажів є контейнерні перевезення. Вони уже широко використовуються у розвинених країнах Азії та Європи. Звичними для портів у Китаї, Німеччині, Нідерландах, США та інших є наявність великих контейнерних терміналів. Вони займають великі площі та мають величезні обсяги вантажів, що оброблюються. Зрозуміло, що виконувана робота вимагає чималої кількості робочого персоналу. В той же час, для ефективного управління такими складними системами та мінімізації людського фактору при проведенні операцій доцільно застосовувати засоби автоматизації та цифрові технології. В наші дні на залізницях України, які є складною системою, застосовуються автоматизовані системи керування. Контейнерні термінали теж є складними системами, меншими за масштабом. Тому при впровадженні будь-яких технологій необхідно враховувати усі фактори. Для прогнозування вільності колій, причалів, та місць для контейнерів можливо застосувати спеціально підготовлену нейромережу. При цьому слід враховувати, що її навчання може зайняти багато часу і для цього необхідно залучати лише високоосвічених спеціалістів.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В роботі [1] зазначено, що використання автоматизованих або частково автоматизованих технологічних рішень є одним із шляхів вирішення проблем людського травматизму на контейнерних терміналах та шкоди довкіллю. Продуктивність автоматизованих портів вища, але станом на 2023 рік автоматизовано лише 4 % від пропускної спроможності контейнерних терміналів у світі. В той же час, застосування автоматизованих технологій на контейнерних терміналах України стане актуальніше, особливо у післявоєнний період оновлення. В роботі [2] наводиться висновок, що системи штучного інтелекту значно підвищують ефективність та швидкість сортування контейнерів на терміналах. Таким чином, дана тема є актуальною, тому необхідно розглянути основні існуючі системи управління терміналами в Україні.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Важливою задачею є відстежування вантажів. Це можна забезпечити за допомогою GPS трекерів, але в наші дні їх використовують лише для найбільш цінних вантажів [3]. Тому у більшості випадках розташування вантажу визначають за ідентифікацією транспортного засобу. Існує декілька методів, але найбільш розповсюдженим є радіочастотний.

Для розвантаження або перевантаження контейнера потрібні крани або колісні навантажувачі. Найбільше розповсюдження отримують засоби AGV. Вони є безпілотними та

керуються з комп'ютерів, що підвищує безпеку робочого персоналу. Окрім колісних також можливе застосування автоматичних кранів-штабелерів (ASC) для транспортування контейнерів між причалами та штабелями і всередині цих штабелів.

Комплексна автоматизація може бути проведена за допомогою «Системи управління терміналами» (TOS) (рис. 1) або «Системи інформаційної взаємодії в терміналах» (PCS). У наші часи реалізується третє покоління таких систем, основою яких є «розумні» або «смарт» процедури. Вони використовуються для управління та моніторингу термінальної інфраструктури. завдяки роботі інформаційних інтеграторів та постачальників термінали мають змогу постійно розширювати сферу їх основних комерційних операцій за допомогою цифрових технологій та інформаційних систем. Прикладом подібної системи є розробка компанії «Boer & Saanen» CONTROLS (для оптимізованого логістичного моделювання контейнерного терміналу).

На сьогоднішній день відомо декілька розробок, які запропоновані до впровадження на контейнерних терміналах України. Однією з них є Облікова система «Управління контейнерним терміналом та сухим портом» [4]. Вона розроблена для автоматизації контейнерних терміналів, сухих портів, контейнерних майданчиків. Система дозволяє автоматизувати облік руху контейнерів, зберігання контейнерів, навантаження та вивантаження контейнерів, стафування та інші функції. Система поєднує в собі оперативний, фінансовий та бухгалтерський облік контейнерного терміналу. Перевагою системи є можливість комплексної автоматизації усіх елементів терміналу, таких як: контрольно-пропускний пункт, вагова, диспетчерська, технічно-виконавча частина, група обліку для операцій експорту та імпорту, модуль розрахунків, склад, фінансовий модуль. До цієї системи можна підключити основне обладнання: відеокамери, автоваги, світлофори та інші. Інтерфейс користувачів можна налаштувати індивідуально під вимоги працівника, а сама система може працювати на будь-яких мобільних пристроях. Існує гнучка система налаштувань бізнес-процесів, а сама система має сумісність з конфігураціями BAS та системами SAP, Oracle, Microsoft [5].

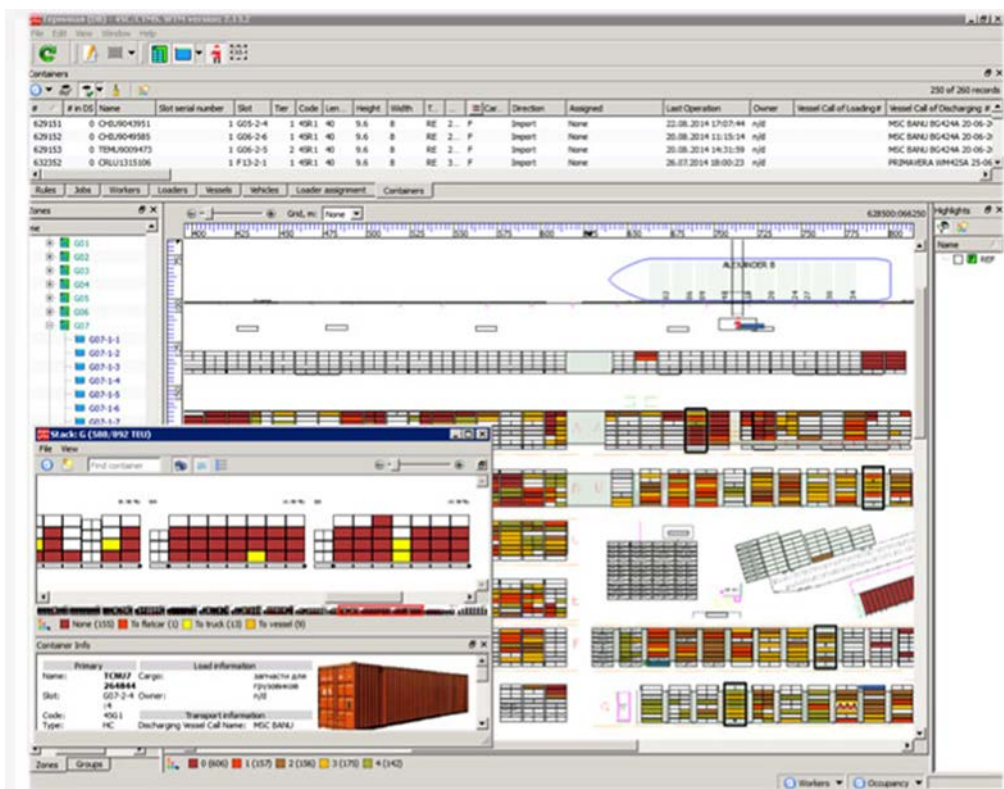


Рисунок 1 – Інтерфейс типової TOS

Іншим прикладом є розробка компанії CAMCO TECHNOLOGIES [6]. Їх рішення з автоматизації розроблені для роботи в будь-яких умовах, для кожного терміналу та для кожного процесу. Завдяки використанню технологій оптичного розпізнавання символів та оптичного розпізнавання ознак зводяться до мінімуму кількість ручних втручань та підвищується точність показників. Розробники надають можливість автоматизації контрольно-пропускних пунктів для усіх транспортних засобів, контролювати доступ, перевстановлювати та визначати положення. Таким чином, в терміналі системно виявляється та реєструється весь вхідний та вихідний трафік. Для залізничних та інтермодальних терміналів система автоматично реєструє вагони, контейнери, причепа та платформи, що полегшує роботу плановиків та машиністів обладнання, підвищуючи загальну ефективність та безпеку.

#### IV. ВИСНОВКИ

Цифрові технології уже досягли відповідного рівня для можливості автоматизації контейнерних терміналів. Запропоновані ключові рішення для виконання найголовніших функцій та обліку вантажів. Тому в цілому немає потреби розроблювати принципово нові системи. В той же час, для подібних терміналів в Україні ці рішення є гостро необхідними: завдяки ним зменшиться вплив людського фактору та забезпечиться прозорість усіх операцій на терміналі, що в свою чергу унеможливить створення нелегальних схем поставок, корупцію та інші види махінацій. При впровадженні даних систем може виникнути проблема браку людських та інтелектуальних ресурсів, але найбільшим питанням є фінансове забезпечення. Якщо коштів для впровадження буде достатньо, то всі інші проблеми можна буде вирішити. Для цього необхідна зацікавленість у подібних проектах на державному рівні. Якщо боротьба з корупцією та махінаціями є однією з головних задач для країни, то можливо передбачити фінансування за допомогою державних програм, залучення інвесторів та фінансової допомоги інших країн. Цей крок прискорить економічне відновлення України та поліпшить гуманітарну ситуацію у постраждалих регіонах.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] ESSENCE, ADVANTAGES AND PROBLEMS OF THE SEA PORTS CONTAINER TERMINALS AUTOMATION / D. M. Reshetkov та ін. Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences. 2023. Т. 2, № 2. С. 194–202. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/33> (дата звернення: 04.05.2024).
- [2] Лаврухін О. В. Удосконалення технології переробки контейнерів за допомогою систем RFID / О. В. Лаврухін, Ю. В. Куліш // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. - 2022. - Вип. 23. - С. 25-28.
- [3] GPS трекер ТК-102 для відстеження автомобілів і людей. GPS моніторинг GPSM. URL: <https://gpsm.ua/gps-treker-tk-102/> (дата звернення: 18.04.2024).
- [4] Облікова WMS система «BAS Управління контейнерним терміналом та сухим портом». Grainsoft. URL: <https://www.grainsoft.com.ua/oblikova-wms-sistema-bas-upravlinnja-kontejnernim-terminalom-ta-suhim-portom.html> (дата звернення: 18.04.2024).
- [5] WMS система «Облік на контейнерному терміналі». GS GROUP. URL: <https://gs-group.pro/uchet-na-konteynernom-terminale-uk.html> (дата звернення: 18.04.2024).
- [6] Рішення з автоматизації контейнерних, інтермодальних та залізничних терміналів. Railway Supply. URL: <https://www.railway.supply/uk/camco-technologies-etalon-industrii-u-vizualnih-rishennyah-z-avtomatizaczi-terminaliv/> (дата звернення: 17.04.2024).

# Організація пасажиропотоків за умови еластичного попиту

Ганна Примаченко, Кирило Тарасов

*Український державний університет залізничного транспорту*

## I. Вступ

В сучасних умовах, коли мінливість попиту на перевезення стає дедалі помітнішою, важливо розробити ефективні методи оптимізації маршрутів та розкладів для забезпечення комфортного та безпечного переміщення пасажирів.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Пошуком рішення на це завдання займалися багато вчених, так в роботі [1] було проаналізовано загальні тенденції зміни обсягів пасажирських перевезень залізничним транспортом у міжнародному сполученні. Визначено причини зміни та перспективи щодо підвищення показників цього виду діяльності залізничного транспорту України, в роботі [2] було запропоновано нові підходи до оцінювання якості залізничних пасажирських перевезень, а в науковій праці [3], від закордонних вчених, основна увага була приділена тому, як мінімізувати загальний час очікування пасажирів на станціях шляхом розрахунку та коригування розкладів поїздів для залізничного коридору із заданими матрицями попиту пасажирів, що змінюються в часі, з пункту відправлення до пункту призначення. Проте, не дивлячись на велику кількість наукових робіт щодо формування розкладу та маршрутів для пасажирських поїздів, не було достатньо розкрито питання щодо їх оптимізації в умовах еластичного попиту.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Одним із можливих рішень стосовно формування маршрутів та розкладів для пасажирських поїздів в умовах еластичного попиту є використання двоетапної моделі оптимізації. У цій моделі номінальний план маршруту визначається першому етапі, коли попит залишається незмінним. Однак, що робить цю модель особливо ефективною, то це те, що на другому етапі, з урахуванням змін у попиті, ми визначаємо змінений план маршруту, ґрунтуючись на вже встановленому номінальному плані. Такий підхід дозволяє адаптувати маршрути та розклади до реальних потреб пасажирів, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів та мінімізацію затримок.

Одним із ключових аспектів цієї моделі є облік еластичності попиту. Замість традиційного підходу, коли маршрути та розклади розробляються виключно на основі статистичних даних, ми враховуємо можливість зміни попиту залежно від різних факторів, таких як час доби, святкові дні, сезонні зміни тощо. Це дозволяє гнучкіше реагувати на потреби пасажирів та оптимізувати використання залізничного транспорту.

Використання такої моделі має наступні переваги. По-перше, вона дозволяє скоротити час очікування та покращити обслуговування пасажирів. По-друге, вона сприяє ефективнішому використанню ресурсів, оскільки дозволяє уникнути зайвих порожніх рейсів чи перевантажень. Також, вона забезпечує більш точне прогнозування попиту і, як наслідок, підвищує загальну надійність та зручність залізничного транспорту.

Проте, слід зазначити, що успішна реалізація цієї моделі потребує не лише розробки математичних алгоритмів оптимізації, а й тісної співпраці з операторами залізничного транспорту, а також активної взаємодії з громадськістю та пасажирями для збору даних про зміну попиту та їх потреби.

Практичне використання заданої моделі було проведено за напрямком Харків-Київ для поїздів категорії Інтерсіті + №723/724. Попередні результати було зведено до таблиці 1.

Таблиця 1 – Скорегований розклад руху поїздів №723/724

|               | Понеділок   |             | Вівторок    |             | Середа      |             | Четвер      |             | П'ятниця    |             | Субота      |             | Неділя      |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 723         | 724         | 723         | 724         | 723         | 724         | 723         | 724         | 723         | 724         | 723         | 724         | 723         | 724         |
| Харків        | 17:02       | 20:47       | 17:02       | 20:44       | 17:02       | 20:44       | 17:02       | 20:47       | 17:02       | 20:50       | 17:02       | 20:50       | 17:02       | 20:50       |
| Люботин       |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 20:15-20:17 |             | 20:15-20:17 |             | 20:15-20:17 |
| Полтава<br>К. | 18:42-18:44 | 19:08-19:10 | 18:42-18:44 | 19:05-19:03 | 18:42-18:44 | 19:05-19:03 | 18:42-18:44 | 19:08-19:10 | 18:42-18:44 | 19:08-19:10 | 18:42-18:44 | 19:08-19:10 | 18:42-18:44 | 19:08-19:10 |
| Миргород      | 19:37-19:39 | 18:13-18:15 | 19:37-19:39 | 18:10-18:12 | 19:37-19:39 | 18:10-18:12 | 19:37-19:39 | 18:13-18:15 | 19:37-19:39 | 18:13-18:15 | 19:37-19:39 | 18:13-18:15 | 19:37-19:39 | 18:13-18:15 |
| Ромодан       | 19:56-19:58 | 17:53-17:55 |             |             |             |             | 19:56-19:58 | 17:53-17:55 | 19:56-19:58 | 17:53-17:55 | 19:56-19:58 | 17:53-17:55 | 19:56-19:58 | 17:53-17:55 |
| Лубни         | 20:19-20:21 | 17:30-17:32 | 20:16-20:18 | 17:30-17:32 | 20:16-20:18 | 17:30-17:32 | 20:19-20:21 | 17:30-17:32 | 20:19-20:21 | 17:30-17:32 | 20:19-20:21 | 17:30-17:32 | 20:19-20:21 | 17:30-17:32 |
| Гребінка      |             |             |             |             |             |             |             |             | 20:45-20:47 |             | 20:45-20:47 |             | 20:45-20:47 |             |
| Дарниця       | 21:50-21:52 | 16:02-16:04 | 21:47-21:49 | 16:02-16:04 | 21:47-21:49 | 16:02-16:04 | 21:50-21:52 | 16:02-16:04 | 21:53-21:55 | 16:02-16:04 | 21:53-21:55 | 16:02-16:04 | 21:50-21:52 | 16:02-16:04 |
| Київ          | 22:08       | 15:43       | 22:05       | 15:43       | 22:05       | 15:43       | 22:08       | 15:43       | 22:11       | 15:43       | 22:11       | 15:43       | 22:11       | 15:43       |

#### IV. ВИСНОВКИ

Таким чином, використання двоетапної моделі оптимізації, що враховує мінливість попиту, є одним із підходів, який може значно покращити якість обслуговування пасажирів та ефективність залізничного транспорту в цілому.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Ломотько, Д. В., Красноштан, О. М., & Кава, О. С. (2023). Шляхи розвитку логістики міжнародних пасажирських залізничних перевезень: інфраструктурний, операційний та інноваційний аспекти. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 28(1), 11-18.
- [2] Григоренко, А. Д. (2023). *Новий підхід до оцінювання якості залізничних пасажирських перевезень* (Doctoral dissertation, Український державний університет залізничного транспорту).
- [3] Niu, H., Zhou, X., & Gao, R. (2015). Train scheduling for minimizing passenger waiting time with time-dependent demand and skip-stop patterns: Nonlinear integer programming models with linear constraints. *Transportation Research Part B: Methodological*, 76, 117-135.

# Деякі особливості енергетичного переходу у дунайському судноплавстві

Тетяна Тарасенко

*Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»  
м. Ізмаїл, Україна*

## I. Вступ

Енергетичний перехід, прагнення до покращення екологічності у внутрішньому судноплавстві стикається з певними питаннями, відповіді на які потребують подальшого вивчення, проведення досліджень та аналізу результатів. Не зважаючи на те, що вже існують технічні вимоги до суден внутрішнього плавання, які працюють на альтернативних паливах, переважна більшість суден на Дунаї працює на традиційних паливах. Учасниками судноплавства розглядаються питання модернізації флоту та потенційне енергетичне перетворення цього сектору шляхом використання альтернативних джерел енергії, таких як LNG, паливні елементи та літієво-іонні батареї. Але при цьому існує необхідність вирішення економічних, організаційних, екологічних, безпекових та інших проблем, пов'язаних із зміною використання палива, зокрема через оцінку вартості модернізації, експлуатаційних витрат, доступності інфраструктури, екологічних наслідків та безпеки. Такий енергетичний перехід має на меті досягнення нульової емісії шкідливих викидів до атмосфери.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питанням енергетичного переходу приділяється увагу багатьма сучасними науковцями як України, так й світу.

У роботі [1] досліджується потенціал водневого палива для суден, включаючи його переваги, виклики та поточний стан. Автори зазначають його значну роль у скороченні викидів парникових газів від судноплавства, але його впровадження не позбавлене викликів. Основними проблемами на шляху до впровадження, вказані: вартість виробництва і зберігання, обмежена інфраструктура баз бункерування суден воднем, потреба в інфраструктурі зберігання та розподілу, а також потенційні витрати та економічні наслідки переходу на таке альтернативне джерело енергії.

Основні проблеми, які можуть виникати при переході судноплавства на нові види палива, розглянуті у роботі [2]. При цьому запропоновано напрямки вирішення цих проблем без суттєвого впливу на вартість вантажоперевезень, які полягають в підборі сировини, її попередній обробці, застосуванні новітніх технологій та компаундуванні готової товарної продукції. Одним з найбільш перспективних технологічних процесів виробництва моторних палив, зокрема морських, автори вважають каталітичний піроліз на цеолітах вторинної полімерної сировини.

У роботі [3] проведено аналіз інтеграції водневих систем до суднових енергетичних комплексів, що, на думку автора, може забезпечити значне скорочення споживання традиційних палив, зменшення забруднення навколишнього середовища та збільшення економічної ефективності судноплавства. Основними проблемами інтеграції водневих систем зазначаються висока вартість водню, складність його зберігання та транспортування, а також необхідність розробки нормативно-технічної бази та стандартів безпеки.

У роботі [4] наведено опис удосконаленої математичної моделі, яка описує теплофізичні властивості широкого спектру традиційних та альтернативних видів моторного палива.

Використання чистих і відновлюваних джерел енергії розглядається у роботі [5] як метод підвищення ефективності суден, зокрема встановлення сонячних панелей для допоміжного виробництва електроенергії на борту судна. У статті підкреслюється необхідність розвитку інфраструктури відновлюваної енергетики для морського транспорту. У той же час найбільш сприятливим типом енергії для комерційного судноплавства вважається водню (80%), на другому місці паливні елементи (64%).

Роботи [6], [7] присвячені загальним особливостям внутрішнього судноплавства та дунайського зокрема. Розглядається трансформація індексу енергоефективності для його застосування для суден, які працюють з застосуванням різних технологій транспортування, вплив форми каравану, навігаційних умов та інші аспекти енергетичного переходу у внутрішньому судноплавстві. Зазначається брак технічних приписів та заходів економічного характеру для мотивації судновласників до модернізації флоту та здійснення енергетичного переходу.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Серед інших питань енергетичного переходу актуальним є технічне регулювання для суден, які працюватиме в умовах енергетичного переходу з використанням новітніх технологій та альтернативних паливних. У дунайському судноплавстві діє регулювання технічних приписів на базі поточної версії стандарту *ES-TRIN* Комітету *CESNI*, який містить положення щодо застосування на судах паливних з низкою температурою спалаху, зрідженого природного газу (*LNG*), паливних елементів (*FC*) та літєво-іонних батарей (*Lithium Battery*). Це складає основу технічного регулювання майбутнього енергетичного переходу. Але щодо поточної ситуації, слід зауважити, що в експлуатації знаходяться виключно судна з традиційними пропульсивними установками, в якості головних двигунів в яких працюють двигуни внутрішнього згоряння на викопних паливах нафтового походження.

Актуальні дані щодо складу дунайського флоту відповідно до відомостей статистичного щорічника Дунайської Комісії свідчать про те, що 60 % діючого вантажного дунайського флоту складають штовхачі та буксири-штовхачі, побудовані у період 1970–1990 років. Енергетична установка таких суден у базовій комплектації в своєму складі має чотиритактні середньооборотні двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), які працюють на традиційних викопних паливних. Схожа ситуація й з пасажирськими суднами на Дунаї – період побудови 1980–1990 роки, комплектація середньо- або високооборотними ДВЗ. Пропульсивні установки як вантажних, так й пасажирських суден в основному двовальні або тривальні, з реверс-редукторними передачами потужності. На деяких проектах застосовані дизель-електричні системи.

Проблеми та невизначеності шляхів енергопереходу можуть бути систематизовані за критеріями економічного, організаційного, екологічного, безпекового та загального характеру. Кожен з цих критеріїв має декілька аспектів (субкритеріїв), які призначені для деталізованої систематизації та створення підґрунтя для вибору напрямку подальших дій судновласників та інших зацікавлених сторін з урахуванням внутрішніх та зовнішніх факторів.

Враховуючи, що енергетичний перехід у дунайському судноплавстві у кінцевому результаті матиме повну відмову від невідновлювальних палив викопного походження з їх заміною альтернативними джерелами енергії з метою досягнення нульової емісії шкідливих викидів до атмосфери, слід розуміти, яку задачу вирішуватиме судновласник на початковому етапі прийняття рішень та формування власної стратегії.

Якщо порівняти характеристики палив, які розглядаються як потенційно можливі для використання в судових енергетичних установках дунайського флоту, то зручно їх представити у вигляді діаграми на рис. 1.

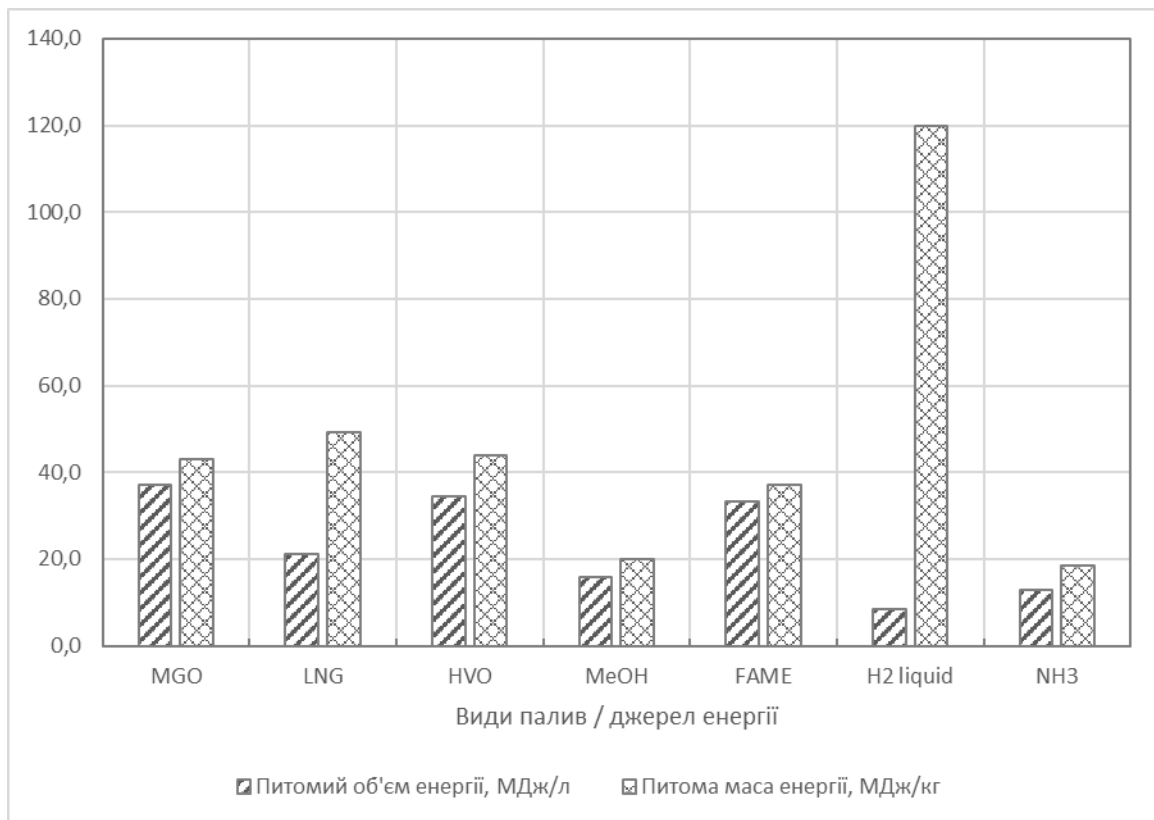


Рисунок 1 – Порівняння питомого об'єму та питомої маси енергії різних видів палив

Порівняння характеристик палив на рис. 1 дає розуміння перешкод на шляху енергетичного переходу у дунайському судноплавстві та переваг традиційного викопного палива нафтового походження MGO перед альтернативними. Якщо оцінити потреби у паливі дунайського штовхача з двома двигунами потужністю по 735 кВт, який штовхає караван з 6 одиниць барж класу Європа-ІІБ загальною водотоннажністю 12 тис. т – його добова витрата MGO складає приблизно 6,5 т. Тобто при ході ввєрх на дистанцію 1800 км час рейсу складе приблизно 15 діб, а загальна витрата MGO складе 97,5 т. Враховуючи наявну можливість мати на борту запас MGO у кількості 100 т, наявного палива буде достатньо для виконання такого рейсу, ще й з залишком на маневрування та інші потреби. Для інших, альтернативних видів палив при однакових об'ємах цистерн запасів, бункерування знадобиться: при використанні HVO за 11,5 діб, для LNG за 8 діб, для MeOH за 5 діб.

#### IV. Висновки

Енергетичний перехід у дунайському судноплавстві потребує більшої визначеності, узгодженості на міжнародному рівні та технічного регулювання його етапів. Необхідна дорожня карта, яка б визначала дії усіх зацікавлених сторін, як комплексний рамковий документ, якій узагальнено для всіх країн-учасниць дунайського судноплавства відігравав би роль координуючого припису щодо обрання альтернативних паливних, розвитку інфраструктури баз бункерування, модернізацію та переобладнання судових енергетичних установок існуючих суден, заходи фінансової підтримки судовласників для поповнення флоту новобудовами.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] О. М. Мельник, О. М. Шумило, О. А. Онищенко, Ю. В. Михайлова, Т. С. Обнявко, Т. О. Коробко "Концепція та перспективи використання водневого палива на морському транспорті" *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, 2023, вип. 203, с. 96-105. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.203.2023.277913>.

- [2] А. В. Чернявський, А. Б. Григоров. "Морське паливо з низьким вмістом сірки, перспективи виробництва в Україні". *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2023. No 1. С. 136-140. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2023.276189>.
- [3] Д. О. Шалапко. "Моделювання та аналіз інтеграції водневих систем до суднових енергетичних комплексів". *Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції "Інновації в суднобудуванні та океанотехніці"*. 20-21 вересня 2023 року, м. Миколаїв. с. 212-214. URL: <https://rep.nuos.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6b9ce08b-915d-4626-afd0-c1bcd320d95b/content>.
- [4] О. М. Кондратенко, К. Р. Умеренкова, А. М. Левтеров, О. П. Строков, В. Ю. Колосков. "Математичний апарат для моделювання теплофізичних властивостей альтернативних моторних палив з метою екологізації двигунів внутрішнього згорання". *XXVIII - міжнародний конгрес двигунобудівників*. Тези доповідей. Харків. Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2023. С. 44-46.
- [5] Гончарук І. П., Никифоров Ю. О., Кошарська Л. В., Головань А. І. "Особливості впливу відновлюваної енергетики на ефективність і екологічність морського транспорту". *Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій*. № 2(38) 2023. с. 73-80. DOI: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.08>.
- [6] Суворов П. С., Тарасенко Т. В., Залож В. І. Аналіз трансформації оцінки енергоефективності суден в умовах енергетичного переходу у внутрішньому водному транспорті. *Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій*. № 1 (37). с. 161-170. DOI: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.18>.
- [7] Суворов П. С. Тарасенко Т. В., Залож В. І. Оцінка енергоефективності для умов навігаційних невизначеностей у внутрішньому судноплаванні. *Автоматизація суднових технічних засобів*. Одеса: НУ «ОМА», 2019. Вип. 25. С. 90 -100. DOI: <https://doi.org/10.31653/1819-3293-2019-1-25-90-100>.

# Удосконалення структури міжнародних транспортних систем

Світлана Бібік, Олег Стрелко, Михайло Музикін

*Державний університет інфраструктури та технологій  
м. Київ, Україна*

## I. Вступ

Найефективнішим методом скорочення витрат в транспортних системах є застосування автоматизованих інформаційних систем, нових технологій та обладнання, які дають можливість оптимізувати і раціоналізувати управлінські функції на кожному етапі транспортно-складського процесу на підприємстві.

Використання сучасних програмних продуктів дає змогу суттєво підвищити оперативність прийняття управлінських рішень і їх якість, сприяють своєчасній ідентифікації потенційних проблем і незапланованих відхилень по усій довжині логістичного ланцюга. Одним із важливих аспектів застосування автоматизації є їх реалізація в умовах складських операцій, що дозволяє покращити якість технологічних процесів і забезпечити чіткі і виважені рішення. Це дає підстави стверджувати, що фінансування процесів, пов'язаних з автоматизацією і використання новітніх програмних рішень, продуктів, технологій і обладнання є запорукою підвищення ефективності транспортно-складської діяльності підприємства.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В роботі [1] підкреслюється, що інвестиції в автоматизацію, системи відстеження, аналітику даних та сучасне програмне забезпечення дозволяють оптимізувати управління ланцюгом постачання. В іншому дослідженні [2] стверджується, що важливою запорукою організації ефективних перевезень вантажів є саме зниження логістичних витрат. Для цього необхідна координація дій вантажовідправників, перевізників та інших учасників транспортного процесу по всьому логістичному ланцюгу.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Ефективна логістична діяльність на підприємстві також не можлива без тісної координації між його функціональними підрозділами. Різноманітність особливостей підприємств і конкретних проблем, що стоять перед ними, потребує детермінованого підходу до існуючих варіантів управління матеріальним потоком. Це залежить від характеру продукції, яку випускають, матеріалоємності виробництва, кількості споживачів, каналів розподілу та т.і. Концепція логістики передбачає передачу відповідальності за управління матеріальним потоком єдиному інтегрованому підрозділу.

Контроль і управління транспортними, а також складськими витратами є функцією, яка реалізується службою логістики спільно із службою фінансів. Для логістів необхідні достовірні дані щодо цін і витрат, з якими вони працюють. У свою чергу працівники фінансового підрозділу потребують від логістів інформації щодо руху відвантаженої продукції, витрат, які планують на реалізацію логістичних проектів. У цьому зв'язку контроль і управління витратами на виконання вказаних функцій логістика здійснює спільно із фінансовим підрозділом.

Одним з основних напрямків інновацій міжнародного транспортного процесу є удосконалення структури міжнародних транспортних систем. При створенні логістичної системи товароруху в міжнародному масштабі виникають наступні проблеми:

- регулювання і спрощення митних і технологічних процедур при переході матеріальних потоків через границі;

- уніфікація вимог, правил, тарифів, параметрів і стандартів до технології і технічних засобів при збереженні визнаними державами пріоритетів міжнародних угод, що регулюють принципи логістики;

- значні інвестиції в транспортну інфраструктуру, пов'язані з управлінням матеріальними та інформаційними потоками;

- орієнтація на вільні ринкові відносини в сфері економіки і при формуванні ринку транспортних послуг.

Відсутність міжнаціональних логістичних систем товароруху призводить до багаторазових перевантажувальних операцій, тривалих затримок вантажів і транспортних засобів на прикордонних станціях і, як наслідок, до порушення термінів постачання, тобто негативно впливає на кон'юнктуру збуту.

#### IV. ВИСНОВКИ

Створення логістичних міжнародних систем товароруху пов'язано з впровадженням дорожніх заходів. Товарний ринок багатоміжнародної продукції вимагає створення мережі регіональних проміжних розподільчих центрів у різних країнах. При побудові міжнародних транспортно-логістичних систем необхідно вирішити наступні питання:

1). створення вільного ринку перевезень без утруднень у відношенні його місткості і завантаження;

2). застосування так званих «плаваючих» тарифів, рекомендованими органами загального ринку;

3). розробка уніфікованих правил, здатних захищати загальний транспортний ринок;

4). лібералізація транспортних процедур при переході вантажів через кордони держав-учасників загального ринку;

5). узгодження провізної спроможності магістрального транспорту та продуктивності залізничних і складських засобів;

6). розвиток логістичних послуг у сфері перевезень вантажів, у тому числі при пакуванні, маркуванні, зберіганні та митному оформленні.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Музикін М. І., Щербіна Р. С., Нестеренко Г. І., Герасюта К. А. Логістика як ключовий фактор у розвитку економіки та інвестиції у цю сферу. *Логістика і транспортна безпека: Проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів та загроз : Матеріали тез II Міжнародної науково-практичної конференції*. Дніпро: УДУНТ, 2023. С. 28-29.
- [2] Музикін М. І., Петренко В. Ю. Шляхи покращення ефективності міжнародних перевезень в сучасних умовах. *Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика : Матеріали 19 науково-практичної міжнародної конференції*. Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 158-160.

# Дослідження температурних режимів роботи каталітичного нейтралізатора автомобіля із встановленим ГБО 4-го покоління у реальних дорожніх умовах

Олександр Кудін, Ольга Дударенко

*Національний університет «Запорізька Політехніка»  
м. Запоріжжя, Україна*

## І. ВСТУП

В рамках загальносвітових тенденцій по зменшенню шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище, автовиробники постійно вживають заходів та обмежень щодо контролю кількості шкідливих викидів у атмосферу. Впроваджуються нові екологічні стандарти, які зумовлюють більш жорсткі вимоги щодо систем нейтралізації відпрацьованих газів, що стали невід'ємною частиною автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння. При цьому каталітичний нейтралізатор, у зв'язку із використанням у ньому конструкційних матеріалів із металів високої вартості, залишається досить дорогим елементом транспортного засобу, а його пошкодження може призвести до великих витрат власника. Разом із тим поширена думка, що через більш високу питому теплоту згоряння пропан-бутанової паливної суміші порівняно із бензином, виникають термічні руйнування каталітичного нейтралізатору внаслідок нерозрахункових режимів його роботи. Таке твердження потребує дослідження і перевірки.

## ІІ. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження за тематикою проблеми проводилось співробітниками Korea Advanced Institute of Science and Technology Seokhwan Lee і Choongsik Bae та співробітниками Hyundai Motor Company Yongpyo Lee і Taesik Han [1]. Вплив використання зрідженого нафтового газу на температуру каталітичного нейтралізатора розглядав Mutlu Tekir у своїй доповіді на 1st International Conference on Energy Systems Engineering у KBU—Karabuk, Turkey [2]. В роботі розглядалися температурні режими роботи двигуна автомобіля Мазда 3 1.6л із іскровим запаленням, що був переобладнаний для роботи на зрідженому нафтовому газі із застосуванням системи газового впорскування BRC. В матеріалах доповіді були приведені порівняльні графіки температурних режимів каталізатора при роботі автомобіля на бензині і на газі. Склад паливно-повітряної суміші на бензині і на газі авторами не аналізувався. Були порівняні середні значення температур каталізатора за різних швидкісних режимах їзди в реальних дорожніх умовах.

## ІІІ. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для проведення дослідження було обрано автомобіль Volkswagen Jetta 2.5, що був переобладнаний для роботи на зрідженому нафтовому газі із застосуванням системи управління газовим впорскуванням STAG QMAX6 Plus. Проведено серію експериментальних заїздів з реєстрацією температурних режимів каталітичного нейтралізатора у реальних дорожніх умовах із застосуванням штатного датчику температури каталізатора автомобіля. Дані записувались за допомогою вбудованого цифрового осцилографу системи STAG QMAX.

Експерименти було поділено на три частини: 1. Реєстрація температур каталітичного нейтралізатора при роботі автомобіля на бензині; 2. Реєстрація температур каталітичного нейтралізатора при роботі автомобіля на газі в стехіометричному стані системи; 3. Реєстрація температур каталітичного нейтралізатора при роботі автомобіля на газі в умовах бідної паливно-повітряної суміші. Результати експериментів представлені на рис. 1, рис. 2.

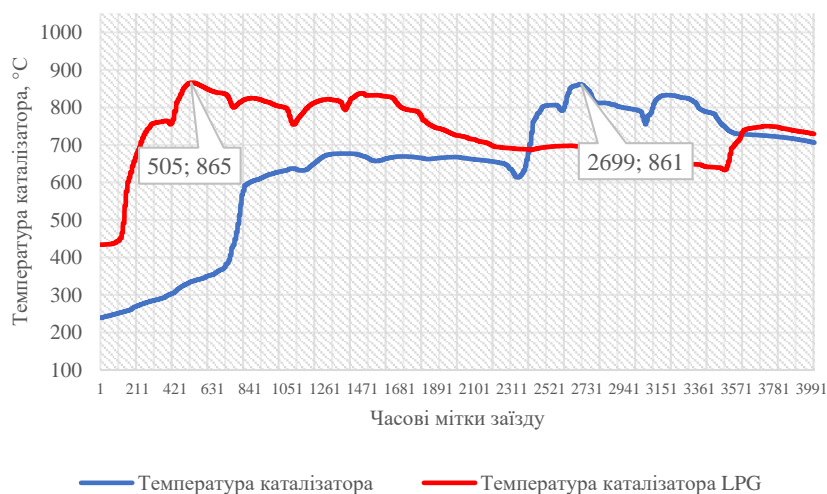


Рисунок 1 – Порівняльна діаграма температур каталітичного нейтралізатора при роботі двигуна на бензині і на газі



Рисунок 2 – Комбінована діаграма зміни довгострокової паливної корекції LFT при роботі двигуна на бензині та зміна температури каталізатора

Як видно із представлених діаграм, на жодному з етапів експерименту не було досягнуто критичних температур каталітичного нейтралізатора, що могло би викликати його термічне пошкодження, оплавлення, тощо.

#### IV. ВИСНОВКИ

Зважаючи на викладене, слід вважати хибною гіпотезу про шкідливий вплив високих температур на каталітичний нейтралізатор при роботі автомобіля на зрідженому нафтовому газі як в стані стехіометрії так і в стані бідної паливно-повітряної суміші.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Lee, S., Bae, C., Lee, Y., and Han, T. Effects of Engine Operating Conditions on Catalytic Converter Temperature in an SI Engine, SAE Technical Paper 2002-01-1677, 2002, URL: <https://saemobilus.sae.org/content/2002-01-1677/> doi:10.4271/2002-01-1677
- [2] Mutlu TEKİR Effects of LPG Fuel on Catalyst Temperature of a SI Engine under Real Life Driving Conditions. 1st International Conference on Energy Systems Engineering, November 2-4, 2017, KBU—Karabuk, Turkey, URL: [https://www.researchgate.net/publication/323643173\\_Effects\\_of\\_LPG\\_Fuel\\_on\\_Catalyst\\_Temperature\\_of\\_a\\_SI\\_Engine\\_under\\_Real\\_Life\\_Driving\\_Conditions](https://www.researchgate.net/publication/323643173_Effects_of_LPG_Fuel_on_Catalyst_Temperature_of_a_SI_Engine_under_Real_Life_Driving_Conditions)

# Методи підвищення ефективності функціонування складу

Галина Нестеренко

*Український державний університет науки і технологій  
м. Дніпро, Україна*

Михайло Музикін, Розалія Щербина

*Державний університет інфраструктури та технологій  
м. Київ, Україна*

## I. ВСТУП

Більшість складських операцій спрямовані на постійну місію максимізації продуктивності процесу шляхом оптимізації робочих процесів, автоматизації процесів та скорочення простоїв в очікуванні виконання вантажних операцій. Досягнення логістичних технологій, таких як автоматизовані роботи, мають великий вплив на продуктивність складу, а також інноваційні рішення штучного інтелекту (AI) та машинного навчання, складне програмне забезпечення для управління складом та інші технологічні рішення.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В роботі [1] стверджується, що особливої уваги заслуговують підприємства, які застосовують у своїй діяльності досвід координації закупівель, збуту і перевезень, заснований на концентрації взаємопов'язаних функцій зі складування та транспортування в єдині служби, тобто під єдиним керівництвом. Дослідження [2] присвячено особливостям складської логістики, пов'язаним з обробкою певного виду вантажів. Проведений аналіз літератури засвідчує актуальність обраного напрямку наукового пошуку.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Продуктивність складу безпосередньо пов'язана із здатністю організувати свої операції та мотивувати своїх найкращих співробітників. Для цього необхідно:

1). Зробити інструктажі з охорони праці цікавими і актуальними. Однією з найбільших проблем, що стоять перед керівниками складів, є завдання забезпечити співробітникам регулярне технічне навчання, зокрема з питань дотримання охорони праці та цивільного захисту (останнє є особливо актуальним в умовах воєнного стану).

2). На початку кожного року окреслити працівникам виробничі цілі компанії. Встановлення спільної мети для складської команди допоможе надати співробітникам метк, яку потрібно досягти. За можливості потрібно розробити та довести до працівників чітку і зрозуміли систему матеріального заохочення за виконання встановлених виробничих завдань.

3). Перейти на світлодіодне освітлення. Світлодіодне освітлення є енергоефективним і економічно вигідним. Це є особливо актуальним в зв'язку з необхідністю заощадження електроенергії внаслідок зруйнованих ракетними обстрілами ворога об'єктів генерації електроенергії. Крім того, світлодіодні лампи виділяють менше тепла, створюючи більш прохолодне та комфортне робоче середовище для співробітників.

4). Впевнитися, що все наявне складське обладнання підтримується в належному технічному стані. Регулярне технічне обслуговування вилкових навантажувачів,

підйомників, пістолетів для цвяхів та інших пристроїв допоможе запобігти випадкам виробничого травматизму і забезпечить безперебійну роботу складу.

6) Пов'язувати призначення бонусів із продуктивністю та стажем роботи. Це дозволить зміцнити підтримання високого рівня досвідчених працівників, задоволеність та лояльність співробітників.

7) Оновлювати систему палетних стелажів. Організована система палетних стелажів допоможе максимально використовувати складські площі та забезпечить легкий доступ та швидке транспортування вантажів при виконанні навантажувально-розвантажувальних робіт.

8) Інвестувати в хмарні програмні системи. Найбільшою перевагою хмарної програмної системи є доступ до інвентаризації в режимі реального часу. Хмарна система дозволить вам точно знати, скільки запасів у вас є, незалежно від часу чи місця.

9) Перехресне навчання своїх співробітників. Суть даного підходу полягає у взаємозамінюваності працівників, якщо співробітники захворіють або раптово звільняються з компанії (з різних причин, зокрема і зі зміною місця проживання).

10) Заручитися підтримкою спеціаліста з операцій ланцюга поставок, що дозволить здійснювати раціоналізацію роботи складу.

Підвищення продуктивності та ефективності складу має бути головним пріоритетом для керівників складів. Занадто багато змін до складських процесів і процедур може призвести до плутанини і, замість підвищення продуктивності, може мати протилежний ефект. Хоча найкращі стратегії підвищення ефективності складу можуть відрізнитися від компанії до компанії, це 5 розумних змін, які повинні запроваджувати всі склади.

Зміна № 1 – Розумна автоматизація. Автоматизовані складські системи роблять процеси більш ефективними, точними та надійними. І оскільки попит на краще виробництво продовжується, це є важливою перевагою для виробників. Автоматизація може включати інтегровану складську робототехніку, керовані транспортні засоби та комплектування, а також автоматичне відстеження, що дозволяє клієнтам відстежувати покупки. Потрібно впроваджувати технологію, яка працює на практиці, а не лише в теорії.

Зміна № 2 – Максимальний простір. Неефективне використання наявного простору може призвести до збільшення витрат на додаткові складські приміщення, які насправді не потрібні. Здебільшого, прийом, комплектація, пакування та відправлення займають приблизно 50 % складських площ; зберігання продукції, що залишилася. Доцільне використання вертикального простору з користю, наприклад з подвійними глибокими стелажимами з ричтраками. Розумне управління складським приміщенням може покращити процес комплектування та покращити управління відправленням.

Зміна № 3 – Організовані робочі місця. Безладна або захаращена робоча станція вказує відвідувачам і персоналу на відсутність ефективності. Це навіть може свідчити про те, що працівники складу перевантажені або що моральний дух компанії не на надто високому рівні. Доцільно організувати та улаштувати робочі місця відповідно до конкретних завдань співробітників, які їх використовують.

Зміна № 4 – Навчання співробітників. Навіть найбільш ефективні транспортні технології та процеси не мають цінності, якщо співробітники не розуміють як їх правильно застосовувати в практичній діяльності. Доцільно впроваджувати ретельні та водночас зрозумілі навчальні програми, які зосереджуються на технологіях і на тому, як саме і яким чином співробітники повинні використовувати надані «інструменти».

Зміна № 5 – Найвищий пріоритет безпека. Безпека має бути пріоритетом на будь-якому складі, оскільки без розумних практик дотримання вимог охорони праці на робочому місці можливі нещасні випадки, які окрім шкоди здоров'ю чи навіть загрози життю працівників також призводять до неефективності функціонування, та, як не втрати прибутку. Якщо заощаджувати на витратах, що спрямовуються на дотримання вимог охорони праці, то врешті решт це призведе до додаткових витрат внаслідок вимушених перерв у роботі технологічних ліній.

#### IV. ВИСНОВКИ

Підвищення ефективності транспортно-складської діяльності підприємства є актуальним питанням сьогодення, яке пов'язане з налагодженням оптимального товароруку в контексті управління ланцюгами поставок. Воно напряму пов'язане з використанням сучасних програмних продуктів і адаптованих управлінських рішень, відповідно до усталених принципів логістичної діяльності. При цьому досягнення синергетичного ефекту можливе в результаті комплексного впливу новітніх підходів і засобів до систем управління транспортно-складськими операціями та матеріальними потоками на відповідні процеси по відношенню до усього логістичного ланцюга.

В сучасних умови функціонування економіки України ефективність діяльності суб'єктів господарювання ґрунтується на успішному функціонуванні їх збутових та логістичних систем. В умовах сьогодення діяльність підприємств здебільшого базується на засадах маркетингу та логістики. Запорукою конкурентних переваг, як на зовнішньому, так і на внутрішньому ринку, є використання концепції логістики, що дозволяє реалізовувати ефективну управлінську, господарську, маркетингову та виробничо-збутову діяльність підприємства. Підвищення ефективності логістичної діяльності може бути досягнуто за рахунок підвищення рівня управління матеріальними потоками; удосконалення систем управління складськими запасами; удосконалення процесів обслуговування клієнтів; оптимізації транспортних потоків за рахунок впровадження провідних систем моніторингу витрат палива; удосконалення організаційної структури управління логістичною діяльністю; прогнозування логістичної діяльності та реагування на результати контролю діяльності.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Нестеренко Г. І., Музикін М. І., Стрелко О. Г., Оксенюк І. Підвищення ефективності транспортно-складської діяльності підприємства. *Інтелектуальні транспортні технології : тези доповідей 3-ьої Міжнародної науково-технічної конференції*. Харків: УкрДУЗТ, 2022. С.49-51.
- [2] Музикін М. І., Нестеренко Г. І., Бібік С. І., Буряк А. С. Організація роботи транспортного хабу з обробки гуманітарних вантажів. *Транспорт: наука та практика : збірник наукових праць II Міжнародної науково-практичної конференції*. Київ: СНУ імені В. Даля, 2023. С.75-78.

# Компоненти і планувальна структура транспортно-пересадочних вузлів на території аеропортів

Руслан Пустовойт, Олександр Степанчук

*Національний авіаційний університет  
м. Київ, Україна*

## I. ВСТУП

Більшість сучасних транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ) в аеропортах формуються на території аеровокзальних комплексів, а саме на привокзальній площі, де організовується пішохідний та транспортний рух. У сучасних умовах основою формування ТПВ в аеропортах з пасажиропотоком більш ніж два мільйони пасажирів є залізничний транспорт, який забезпечує потужний пасажиропотік безпосередньо з міста в аеропорт та навпаки. ТПВ можуть виступати також станція метрополітену, автобусна станція, зупиночні пункти, де сходяться лінії маршрутів наземного пасажирського транспорту, між якими здійснюється пересадка. Транспортно-пересадочний вузол становить собою комплекс структурних елементів, які можна розподілити за відповідними зонами: транспортно-пішохідна, зона архітектурних споруд та об'єктів соціального призначення (за наявності) та резервна зона (за наявності).

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аспекти організації пасажирських перевезень, технології роботи ТПВ із залізничними вокзальними комплексами, станціями метрополітену, аналіз схем і технології роботи пасажирських станцій, їх розміщення в межах ТПВ, взаємодії з іншими видами транспорту викладені в працях М. Б. Касіма [1] та Г.О. Самчук [2].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

**Транспортно-пішохідна зона** є основною одиницею аеропортового ТПВ, де розміщуються зупиночні пункти різних видів транспорту та транспортно-пішохідні шляхи, що об'єднують пункти пересадки пасажирів. Транспортно-пішохідна зона розташовується на привокзальній площі, де здійснюються міжмаршрутні пересадки пасажирів перед аеровокзалом. Така територія складається з таких підзон: зони озеленення та благоустрою, пішохідної території, зони місць паркування і проїжджих частин та зони автомобільних доріг.

*Зона озеленення та благоустрою* складається з місць відпочинку пасажирів та зелених насаджень.

*Пішохідна зона* включає доріжки й пішохідну площу перед аеровокзалом та зупинки громадського й приватного транспорту. Оскільки зупинки транспорту складаються з ділянки скупчення пасажирів перед пересадкою та місцем зупинки транспорту, то їх можна включити до складу пішохідної зони. Своєю чергою, зупинки громадського транспорту поділяються на автобусні, трамвайні та залізничні пункти висадки та посадки пасажирів. До приватного транспорту відносяться зупинки таксі та індивідуальних транспортних засобів.

*Зона місць паркування та проїжджих частин* складається з паркувальних майданчиків, які можна класифікувати за такими типами:

1. Короткострокові автостоянки для приватного транспорту.
2. Довгострокові автостоянки, що обслуговують приватний транспорт на добу і більше.

3. Стоянки для громадського транспорту (автобусів, трамваїв та таксі).
4. Автостоянки закритого типу (будівлі багаторівневих паркінгів).
5. Стоянка для велосипедів (зазвичай для співробітників аеропорту).
6. Стоянка для співробітників – зарезервована для осіб, які працюють в аеропорту.
7. Паркувальні місця для зони оренди автомобілів – використовуються для зберігання автомобілів, а також для їхнього обслуговування (заправка, мийка та інше).

*Зона автомобільних доріг* містить транспортні сполучення, які розподіляються на такі типи:

1. Службові дороги аеропорту – громадські та приватні дороги всередині аеровокзального комплексу, що забезпечують доступ до аеровокзалів, паркувальних місць, інших споруд аеропорту й регіональних, магістральних автомобільних доріг/шосе.

2. Під'їзні дороги – забезпечують рух транспорту між мережею доріг області, магістральних доріг та зоною аеровокзального комплексу.

3. Проїзні смуги перед аеровокзалом – це дороги, які розташовані поруч із площами прибуття та відправлення пасажирів і призначені для висадки та посадки пасажирів перед аеровокзалом.

4. Рециркуляційні дороги – це транспортні шляхи, які призначені для приватного та громадського транспорту, для висадки та посадки пасажирів в межах зупиночних пунктів та на територіях паркувальних майданчиків.

***Зона архітектурних споруд (за наявності).*** Під час формування ТПВ на основі вокзалу, станції громадського транспорту чи транспортно-комерційної споруди на території аеровокзального комплексу до структури ТПВ додається зона архітектурних споруд та об'єктів соціального призначення. До її складу можуть входити: залізничний чи автобусний вокзал, станція метро та інші транспортно-комерційні споруди. Своєю чергою, до кожної транспортної будівлі входять такі основні приміщення: адміністрація, зали очікування, квиткові каси та посадкові платформи. Для надання додаткових послуг можуть виділятися комерційні площі: торговельні, культурно-розважальні тощо, що підвищує інвестиційну привабливість ТПВ.

***Резервна зона (за наявності).*** Розширення та розбудова ТПВ можливі шляхом використання резервної території: у разі збільшення пасажиропотоку аеропорту, його попиту та інтенсивності прибуття транспортних засобів або в разі її відсутності — влаштування багаторівневого вузла із відокремленими площами прибуття та відправлення пасажирів.

#### IV. ВИСНОВКИ

Підсумовуючи все вище сказане, можна зробити висновок, що структура ТПВ на території аеропортів може складатися з трьох зон: транспортно-пішохідної, зони архітектурних споруд (за наявності) та резервної зони (за наявності). *Транспортно-пішохідна зона* є основною територією ТПВ, яка забезпечує організацію транспортних та пішохідних потоків. *Зона архітектурних споруд* є переважно в аеропортах з пасажиропотоком понад два мільйони пасажирів із впровадженням залізничним транспортом. *Резервної зони* в більшості аеропортів немає. Вона може виступати додатковою територією для розширення та розбудови ТПВ у разі збільшення пасажиропотоку аеропорту.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Касім М. Б. Принципи архітектурно-планувальної організації терміналів аеропортів (на прикладі аеропортів Іраку). дис. канд. арх.: 18.00.02. КНУБА. Київ, 2019.– 255 с.
- [2] Самчук Г.О. Підвищення ефективності функціонування транспортно-пересадочних вузлів наземного міського пасажирського транспорту: дис. канд. техн. наук: 05.22.01 / Самчук Ганна Олександрівна. – Харків, 2018. – 206 с.

# Удосконалення процесів перевезень вантажів шляхом формування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів

Денис Ломотько, Ольга Афанасова, Дмитро Кудряшов,  
Олександр Нестеренко

*Український державний університет залізничного транспорту  
м. Харків, Україна*

## I. ВСТУП

Залізничний транспорт є основою транспортної системи нашої країни й тому вважається одним з найважливіших секторів економіки. З урахуванням розташування внутрішніх промислових центрів та статусу України як транзитної держави, залізнична галузь має великий потенціал та вплив на підвищення економічної ефективності національної економіки. Серед всіх видів транспорту залізничний має певні переваги, тому він успішно застосовується в процесі вантажних та пасажирських перевезень. В складних умовах воєнного стану перед транспортною галуззю постає завдання формування нового підходу до процесів перевезень вантажів шляхом застосування нових логістично-орієнтованих технологій. Це обумовлює один із стратегічних напрямів трансформації вітчизняної транспортної логістики - формування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Наукові роботи та дослідження у сфері розробки і впровадження логістичних та ресурсозберігаючих технологій у перевізний процес мають велике значення для всіх учасників перевізного процесу та залізничної галузі. АТ Укрзалізниця має відповідний потенціал та повинна стати ініціатором і засновником формування національної макрологістичної системи і зокрема її головного та регіональних логістичних центрів. Це дозволить галузі зайняти провідну і домінуючу роль у управлінні вантажопотоками у масштабах всього транспортного комплексу країни [1]. Перспективним є підвищення ефективності залізничних перевезень за рахунок впровадження контейнерних та контейнерних перевезень [2], у тому числі – при широкому застосуванні можливостей окремих транспортних компаній, що здійснюють перевезення масових, зернових, контейнерних та гуманітарних вантажів [3].

Введення воєнного стану в Україні широко розглядається як поворотний момент для європейської економіки, транспортної політики та безпеки, що у повоєнний період закріпить геополітичне відновлення нашої країни та її інтеграцію до транспортної системи ЄС [4]. Дослідження [5] визначило напрямки можливих змін у світовій економіці під впливом конфлікту. По-перше, підвищення цін на сировину, побутові товари, продукти харчування та енергоносії підштовхнуть інфляцію, що вплине на попит й призведе до зниження доходів перевізників у процесі перерозподілу логістичних потоків. По-друге, економіки країн ЄС особливо постраждають від перебоїв у торгівлі, ланцюгах постачання та грошових потоків. По-третє, зниження ділової впевненості та зростання невизначеності на ринку можуть чинити тиск на інвесторів та транспортні тарифи, що може призвести до жорсткіших фінансових умов розвитку транспортної інфраструктури і стимулюватиме відтік капіталу з ринків логістичних послуг. Уникнути більшості цих негативних тенденцій можливо за допомогою упорядкування та раціоналізації розподілу вантажо- та поїздопотоків на шляху

від виробника до кінцевого споживача при формуванні виробничо-транспортних логістичних ланцюгів за участю залізниць.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На частку залізничного транспорту припадає близько 45% перевезень вантажів у внутрішньому сполученні, та близько 80% вантажоперевезень, які здійснюються у процесі інтеграції виробників з різних регіонів до країн ЄС. Невід'ємною частиною системи управління транспортним процесом залізниць має стати багаторівнева національна структура логістичних центрів, діяльність яких спрямовано на підтримку функціонування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів із перевезення широкої номенклатури вантажів.

Виробничо-транспортні логістичні ланцюги - це система, що складається з елементів (логістичних центрів, терміналів, портів, пунктів пропуску, виробничої, транспортної та інформаційної інфраструктури тощо), які перебувають у функціональному взаємозв'язку між собою, мають певні обмеження щодо власних техніко-технологічних можливостей та утворюють єдність для досягнення синергетичного ефекту у процесі доставки вантажів [6].

Технологія функціонування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів повинна базуватися на наступних принципах:

- вивчення та вплив на ринки виробництва та збуту масових, зернових та контейнерних вантажів як у межах України, так і за її кордоном, що необхідно для зменшення технологічної невизначеності у транспортної системи;
- реалізація доставки вантажу у межах логістичного ланцюга та управління процесом транспортування широкої номенклатури вантажів;
- створення ефективного логістичного ланцюга від виробника до споживача за участю всіх необхідних видів транспорту, перевізників, мультимодальних операторів та допоміжних установ;
- прозора та повна відповідальність організатора перевезень за надійну реалізацію виробничо-транспортних логістичних ланцюгів на всьому шляху прямування вантажу будь-якими видами транспорту.

Логістична система залізничного транспорту безпосередньо охоплює всі сфери виробництва та споживання, і таким чином сприяє зменшенню виробничих запасів сировини, матеріалів, комплектуючих та напівфабрикатів. Застосування принципу синергії на залізничному транспорті передбачає самоорганізацію на кожному етапі виробничого процесу. З метою забезпечення відшкодування витрат на відбудову або створення логістичної інфраструктури оцінюються процедури оптимізації графіка доставки вантажу з повним урахуванням принципу логістики "точно в строк" для забезпечення збереження вантажу в пункті призначення, у разі затримок у процесі обробки замовлення (зокрема на міждержавних прикордонних переходах), під час транспортування, при виконанні вантажних операцій або через організаційні неузгодженості.

Місцем взаємодії залізниць в межах виробничо-транспортних логістичних ланцюгів з іншими видами транспорту є транспортно-логістичний вузол:

- вузли з'єднання залізниць й водних шляхів (морські та річкові);
- прикордонні вузли, завданням яких є безперешкодний перетин державних кордонів, включаючи зміну ширину залізничної колії;
- точки стику залізничного та автомобільного транспорту;
- логістичні центри типу "сухий порт", які зазвичай розташовані поблизу великих промислових або адміністративних центрів;
- промислові залізничні вузли.

Наявність транспортно-логістичних вузлів вимагає сформулювати вимоги до їх технічного, технологічного, інфраструктурного та інформаційного забезпечення. Це можливо реалізувати шляхом створення «типових» рішень під кожен технологічну задачу, з яких буде сформовано остаточний вигляд та наповнення транспортно-логістичного вузла.

Враховуючи інтереси всіх учасників процесу руху матеріального потоку та перевізників, проблему впровадження логістичних технологій у транспортний процес необхідно вирішувати комплексно на основі системи українських логістичних центрів. Ця багаторівнева система може мати свою горизонтальну спеціалізацію, наприклад, на зернові вантажі, контейнери, масові вантажі тощо. Для кожного рівня пропонується перелік завдань, що відображають особливості кожного логістичного центру.

#### IV. ВИСНОВКИ

Таким чином, показано, що існуючі транспортні технології недостатньо адаптивні та слабо орієнтовані на споживача транспортних послуг. За цих умов найбільш ефективна організація транспортних процесів на залізницях України та у транспортній галузі взагалі має базуватися на використанні логістичних принципів, застосування яких спрямоване на досягнення інтегрального ефекту залізничної галузі як цілісної системи. Запропоновано розробити наукові засади функціонування системи залізничних логістичних центрів та сформувані оновлені функціональні процеси виробничо-транспортних логістичних ланцюгів за участю залізничного транспорту на основі системного підходу. Складні сучасні логістичні системи повинні бути гнучкими із використанням нових інтелектуальних рішень, що пропонується досягти шляхом формування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів за участю залізниць.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Науково-технічні дослідження у галузі транспорту: колективна монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2022. Т 1-2. – 216 с.
- [2] Ломотько Д. В., Красноштан О.М., Новицький Б.О., Охотін Р.І. Підвищення ефективності контейнерних та контейнерних перевезень залізницею за рахунок інноваційних методів кріплення. Залізничний транспорт України. – 2023. – № 3. – С. 4-11. DOI: 10.34029/2311-4061-2023-148-3-04-11
- [3] Огар, О. М., Ломотько, Д. В., Шелехань, Г. І. І Ломотько, М. Д. Формування системного підходу до організації доставки вантажів залізничною компанією-перевізником регіонального типу. Транспортні системи та технології перевезень, №26, 2023.- с. 61–67. doi: 10.15802/tstt2023/293354.
- [4] Siddi Marco The partnership that failed: EU-Russia relations and the war in Ukraine (2022) Journal of European Integration, 44 (6), pp. 893 - 898, DOI: 10.1080/07036337.2022.2109651
- [5] Zhao X., Duan X., Chang Y.-C. The Impact of War Conflict on Sustainable Shipping: Conference Report (2023) Sustainability (Switzerland), 15 (16), art. no. 12554, DOI: 10.3390/su151612554
- [6] Ломотько Д. В., Примаченко Г. О. Методологічний підхід до формалізації процесу функціонування динамічних мультимодальних транспортних систем. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, №1 (144).-2021.- с. 30-37 DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.v26i1.229070>

# Методологічний аспект створення концепції єдиного логістичного центру залізниць України

Денис Ломотько

*Український державний університет залізничного транспорту  
м. Харків, Україна*

## I. ВСТУП

Серед доступних видів транспорту залізничний транспорт має низку переваг (масштабність перевезень, легкість і зручність відправлення, відносно низька вартість), тому успішно застосовується в процесі вантажних перевезень. Сьогодні в умовах воєнного стану в країні необхідність переосмислення підходу до логістичної функції зумовлена, насамперед, зростанням пріоритету надійності постачання, ефективністю управління логістичними процесами, захистом інфраструктури та навколишнього середовища та загальносвітовою тенденцією до підвищення відповідальності транспортних операторів. Це визначає один із стратегічних напрямів трансформації вітчизняної транспортної логістики.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Одним з шляхів реалізації цього завдання є впровадження мультимодальних технологій з використанням прискорених контейнерних та контрейлерних поїздів, всебічна механізація та інтелектуалізація технологічних процесів, забезпечення безперешкодного просування вантажів у транспортних вузлах та через держаний кордон, що має значні переваги з точки зору зменшення негативного впливу на економічні показники доставки у порівнянні із доставкою вантажу тільки окремими видами транспорту в унімодальному сполученні. Вирішення тільки цих основних питань неможливо без створення єдиного технологічного центру координації логістичної діяльності залізниць України.

Реформування залізничного транспорту відбувається у напрямі орієнтації потреби вантажовласників з урахуванням сучасних логістичних технологій [1, 2]. Усередині логістичної системи залізниць також можуть функціонувати підсистеми: окремі транспортні та (або) виробничі підрозділи, об'єднання, окремі компанії-перевізники [3], а також інші господарські підсистеми, що працюють на єдиний економічний результат. Методологія роботи логістичної системи за цих умов має бути заснована на синхронізації з виробничими процесами на підприємствах - відправниках та одержувачах [2]. Це можна реалізувати шляхом упорядкування та раціоналізації розподілу вантажо- та поїздопотоків на шляху від виробника до кінцевого споживача, враховуючи рентабельність, продуктивність та ефективність системи загалом.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Залізничний транспорт є ключовим компонентом інтегрованого транспортного комплексу України, на частку якого припадає близько 80% усіх вантажоперевезень, що здійснюються у процесі інтеграції виробників з різних регіонів країни в єдиний національний ринок. Залізниця є найбільш розвиненою та розгалуженою інфраструктурою транспортної мережі України, що охоплює всі регіони стратегічного та економічного значення, а також міжнародні транспортні коридори. З огляду на той факт, що потужні інформаційні ресурси, які є у розпорядженні АТ Укрзалізниця, відображають динаміку логістичних процесів,

пов'язаних із рухом транспортних потоків у режимі реального часу, цілком логічним й закономірним визнати Укрзалізницю ініціатором та основою формування національної макрологістичної системи. АТ Укрзалізниця має свої підрозділи у всіх регіонах України, тому на їх базі доцільно створити ключові логістичні центри. Невід'ємною частиною цієї системи має стати вертикальна структура, що складається з великих логістичних центрів і регіональних (локальних) логістичних центрів. Це дасть змогу галузі відігравати домінуючу роль в управлінні вантажопотоками в усьому транспортному секторі країни.

Згідно зі світовим досвідом, у сучасних складних умовах транспортні функції виконують логістичні системи за участю декількох видів транспорту, тобто комбіновані транспортно-логістичні системи. З огляду на повоєнне геополітичне положення України як транзитної країни, для забезпечення конкурентоспроможності транспортної системи необхідно надавати транспортні послуги, які відповідають міжнародним стандартам. Поширення сучасних інформаційних технологій у транспортному процесі на базі єдиного логістичного центру залізниць України є інструментом, який гарантує реалізацію цих вимог.

Дійсно, товари мають доставлятися до місця споживання вчасно, у необхідній кількості та належної якості, а відповідні послуги мають надаватися в потрібний час, у необхідній кількості, в потрібному місці та на належному рівні якості. Транспортна документація має бути доступною і простою, щоб принцип "єдиного вікна" міг бути реалізований у рамках безпаперової технології. Маршрут руху вантажів має обиратися раціональним та економічно ефективним чином з точки зору як перевізника, так і користувача транспортної послуги, на основі відповідної системи підтримки прийняття рішень.

Якщо проаналізувати переваги та недоліки різних видів транспорту, можна відзначити, що жоден з них не є універсальним. Кожен вид транспорту тільки за певних характеристик відправки є рентабельним та економічним. Для залізничного і водного видів транспорту рентабельними є масові відправки на далекі відстані. Автомобільний транспорт вигідно використовувати для перевезення невеликих партій вантажу на відносно невеликі відстані, але надійність доставки й тариф за його використання часто залишається на незадовільному рівні.

Структурно можна запропонувати трирівневий варіант національної логістичної системи. На верхньому рівні передбачено формування єдиного логістичного центру залізниць України, на середньому рівні пропонується створення регіональних логістичних центрів, на нижньому рівні передбачено місцеві (локальні) логістичні центри. Це відповідає концептуальним засадам реформування АТ Укрзалізниця, зокрема створенню нових структур у вигляді Центрів управління рухом (ЦУР), об'єднаних департаментів та служб (технології перевезень; роботи станцій; пунктів концентрації обробки документів тощо).

Крім зазначених факторів, також ще необхідно враховувати шкідливий вплив експлуатації великовагових автомобілів на екологічні показники довкілля, стан доріг, рівень шумового забруднення довкілля, критерії безпеки людей та збереження вантажів тощо. Враховуючи тенденцію країн ЄС до мінімізації руху автомобільного транспорту при виконанні вантажних перевезень, логістичні центри на базі підрозділів залізничного транспорту стануть ще більш ефективними.

#### IV. ВИСНОВКИ

Дослідження, проведені авторами, дозволяють дійти висновку, що активне впровадження мультимодальних перевезень на основі єдиного логістичного центру залізниць України вирішить одразу три стратегічні задачі: покращення надійності постачання, максимальне збереження фінансових ресурсів всіх учасників логістичного процесу та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище. Це дозволяє виділити наступні перспективні напрямки діяльності:

- розвиток транспортно-логістичної системи, зокрема будівництво нової логістичної інфраструктури, оптимізація маршрутів транспортування вантажів, створення єдиного

інформаційного середовища шляхом об'єднання корпоративних інформаційних систем SCM (Supply Chain Management);

- скорочення частки унімодальних автомобільних перевезень, заміщення їх мультимодальними перевезеннями за участю залізничного, морського і річкового видів транспорту, що дозволить підвищити економічність та екологічність перевезень.

Вочевидь, складні сучасні логістичні системи повинні бути гнучкими, існуючі технології потребують доопрацювання, повнішого використання нових інформаційних та інтелектуальних рішень на базі інтероперабельних технологій. Таким чином, розвиток логістичного досвіду минулих років у сучасних складних умовах потребує посилення транспортної системи економічними стимулами та новітніми автоматизованими інформаційно-управлінськими технологіями, що може бути формалізовано як оптимізаційну багатокритеріальну задачу формування системи на основі єдиного логістичного центру залізниць України.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Бутько Т.В., Ломотько Д.В. Методологічний підхід до формалізації процесу функціонування великих динамічних систем залізничного транспорту // Зб. Наукових праць УкрДАЗТ. – Випуск 85. Харків, 2007. – с.25-34.
- [2] Науково-технічні дослідження у галузі транспорту: колективна монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2022. Т 1-2. – 216 с.
- [3] Огар, О. М., Ломотько, Д. В., Шелехань, Г. І. І Ломотько, М. Д. Формування системного підходу до організації доставки вантажів залізничною компанією-перевізником регіонального типу. Транспортні системи та технології перевезень, №26, 2023.- с. 61–67. doi: 10.15802/tstt2023/293354.

# Взаємодія колеса з еластичною шиною і опорними пристроями стендів та співставлення результатів випробувань

Олександр Слюсаров, Андрій Щербина

*Національний університет «Запорізька політехніка»  
м. Запоріжжя, Україна*

## I. ВСТУП

Виробники автомобільних шин пропонують широкий вибір шин одного розміру, але застосування їх на автомобілях не завжди підкріплено порівняльними характеристиками їх тягово-зчіпних і енергетичних властивостей отриманих в однакових умовах. Випробування шин в дорожніх умовах на автомобілях коштовні і неточні внаслідок важкого дотримання стабільності дорожніх умов. В зв'язку з цим, удосконалення методів стендових випробувань і аналізу їх результатів відповідає потребам сьогодення.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

При дослідженнях впливу різних факторів на тягово-зчіпні властивості шин та витрат енергії при їх коченні найбільшого поширення набули барабанні стенди з різним співвідношенням їх діаметрів до діаметрів шин. Досвід використання таких стендів виявив наявність складності аналізу отриманих результатів на різних стендах, що інколи навіть приводить до протилежних висновків.

Окремі дослідники при експериментальних дослідженнях намагаються використовувати роликові стенди із значно меншими відносними діаметрами ніж для барабанних стендів, які широко застосовуються для діагностики технічного стану автомобілів. На результати досліджень отриманих на таких стендах також впливають конструктивні особливості взаємного розташування роликів.

Стенди з плоским контактом взаємодії шини з опорним пристроєм застосовуються обмежено внаслідок складності конструкції, але вони найбільше відповідають взаємодії шини з дорогою.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В роботі приводяться результати дослідження особливостей взаємодії еластичної шини з опорними пристроями стендів і запропоновано метод для оцінки результатів випробувань отриманих на різних типах стендів.

На рис.1 приведено прийняті схеми навантажень колеса і геометричні параметри, які визначають взаємодію колеса з різними опорними пристроями стендів.

Розподіл питомого тиску по довжині плями контакту прийнято апроксимованим синусоїдальною залежністю

$$q = q_{\max} \sin \frac{\pi}{l_K} (x + x_0), \quad (1)$$

де  $q_{\max}$  – максимальний тиск в плямі контакту;

$l_K$  – довжина плями контакту;

$x$  – поточне значення довжини плями контакту;

$x_0$  – зміщення максимального тиску в плямі контакту.



а)- опорний пристрій стрічкового або площинного стенда; б)- опорний пристрій барабанного стенда; в)- опорний пристрій роликowego стенда.

Рисунок 1 – Схеми взаємодії колеса з опорними пристроями стендів

Із рівності вертикальної реакції і навантаження колеса отримаємо залежність, яка при малому зміщенні максимального тиску в плямі контакту можна замінити приблизною залежністю

$$G_k \approx v_{ш} q_{\max} \frac{2l_k}{\pi}, \quad (2)$$

звідки слідує, що

$$l_k \approx \frac{\pi G_k}{2q_{\max} v_{ш}}, \quad (3)$$

де  $v_{ш}$  – ширина плями контакту, яка приймається приблизно рівною ширині шини.

При взаємодії колеса з пласкою поверхнею площі секторів не деформованої і деформованої шини на площині (рис. 1а) визначаються відповідно залежностям

$$S_{сек} = r_0^2 \alpha; \quad S'_{сек} = \frac{l_k r_0}{2}.$$

Визначивши зв'язок довжини плями контакту і величини деформації шини, виразимо значення навантаження колеса через величину деформації шини

$$G_k \approx v_{ш} q_{\max} \frac{4}{\pi r_0} (r_0^2 \alpha - S_{деф}). \quad (4)$$

Визначимо об'єм деформації шини через вільний і динамічний радіуси колеса, враховуючи те, що при пласкому контакті

$$S_{деф} = r_0^2 \alpha - r_0 \sqrt{r_0^2 - r_0'^2}, \quad (5)$$

Тоді

$$G_k \approx v_{ш} q_{\max} \frac{4}{\pi} \sqrt{r_0^2 - r_0'^2} \quad (6)$$

Залежності потужності опору коченню колеса, виражені через об'єм деформації шини або через вільний і динамічний радіуси колеса мають відповідно вид

$$N_f = \frac{4q_{\max}fV}{\pi r_0} \epsilon_{ш} (r_0^2 \alpha - S_{\text{деф}}), \quad (7)$$

$$N_f = \frac{4q_{\max}fV}{\pi} \epsilon_{ш} \sqrt{r_0^2 - r_0'^2}. \quad (8)$$

При взаємодії колеса з циліндричною поверхнею довжину плями контакту колеса із поверхнею (рис. 1б) для малих значень кутів контакту  $\alpha$  і  $\beta$ , що не перевищують  $10^\circ \dots 15^\circ$ , можна прийняти

$$l_K \approx 2r_0 \beta \approx 2r_0 \alpha.$$

Із теорії розмірностей можна записати залежність для визначення затрат потужності на кочення, з урахуванням пропорційності гістерезисних витрат в шині величині деформації, радіальної жорсткості і частоті обертання в виді

$$N_f = K_N \frac{C_N \omega_K}{r_0} S_{\text{деф}}, \quad (9)$$

де  $K_N$  - безрозмірний коефіцієнт;

$C_N$  - радіальна жорсткість шини, Н/м;

$\omega_K$  - кутова швидкість обертання колеса,  $\text{с}^{-1}$ .

Особливості взаємодії колеса із циліндричною опорною поверхнею роликів стэнда (рис. 1в) визначаються наявністю двох зон контакту шини з опорним пристроєм і величиною нормальної реакції в плямі контакту.

Величина навантаження колеса через об'єм деформації шини при циліндричному контакті на роликівому стэнді визначається залежністю

$$G_K \approx \epsilon_{ш} q_{\max} \frac{4}{\pi (r_p \cos \beta + r_0)^2} (r_0^2 \alpha + r_p^2 \beta - S'_{\text{деф}}) \sqrt{4(r_0 + r_p \cos \beta)^2 - l_p^2}. \quad (10)$$

Безрозмірний критерій умови адекватності результатів випробувань в різних умовах запропоновано визначати залежністю

$$\frac{G_K}{(C_N^{\frac{2}{3}} \sqrt{V_{\text{деф}}})} = \text{Const}. \quad (11)$$

#### IV. ВИСНОВКИ

Використовуючи отримані залежності, задавши допустимі величин похибок величин, які визначаються при випробуваннях на стэнді і в дорожніх умовах можна визначити мінімально допустимі радіуси барабанів стэндів або вибрати головні розмірні параметри роликівих стэндів.

Умови співставлення результатів випробувань автомобільних шин на стэндах з різними опорними пристроями і в дорожніх умовах визначено застосувавши положення теорії розмірностей і подібності, а також особливостей взаємодії колеса з циліндричною і пласкою опорними поверхнями.

# Оптимальне проектування за масою механічної двопотокової трансмісії гусеничної машини

Олександр Устиненко<sup>1</sup>, Ілля Клочков<sup>1</sup>, Олексій Бондаренко<sup>1</sup>,  
Сергій Воронцов<sup>1</sup>, Сергій Андрієнко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"  
м. Харків, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
м. Харків, Україна

## I. ВСТУП

Для регулювання передатного відношення та повороту під час руху у трансмісіях гусеничних машин (ГМ) широко застосовуються механічні двопотокові механізми передач та повороту (МПП). Однією з найрозповсюдженіших ГМ із такою трансмісією є легкий багатоцільовий гусеничний транспортер-тягач МТ-ЛБ. Він був прийнятий на озброєння ще у 1964 році та випущений у кількості приблизно 55000 машин. Сьогодні він вже не відповідає сучасним тактико-технічним характеристикам з точки зору потужності двигуна та середніх швидкостей руху. У зв'язку з цим запропоновано багато варіантів його модернізації, більшість з яких полягає в заміні двигуна на більш потужний. При цьому виникає проблема перевантаження трансмісії. Але підвищення її навантажувальної здатності шляхом збільшення габаритів практично неможливо, це пов'язано з обмеженнями габаритів трансмісійного відділення (ТВ). У зв'язку з тим проектування нової, оптимальної за масою, трансмісії при забезпеченні її навантажувальної здатності та умови розміщення в існуюче МТВ є актуальною науково-практичною задачею.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У [1] розглядається оптимізація співвісних ступінчастих приводів машин на прикладі тривальних коробок передач за критеріями мінімальних міжосьової відстані  $F_a$ , довжини  $F_L$  та маси  $F_M$ . Методом розв'язання було обрано зондування простору параметрів за допомогою пробних точок ЛПт-послідовності [2]. Метод дає змогу оперувати значною кількістю параметрів – до 51, та забезпечує достатньо велику кількість рівномірно-розподілених пробних точок – до  $2^{20}$ . Ці підходи були взяті за основу при розв'язанні нашої задачі.

Таким чином, метою дослідження є розробка математичної моделі оптимізації за масою трансмісії гусеничного транспортера-тягача МТ-ЛБ, а також побудова прикладних методик та алгоритмів для практичної реалізації задачі оптимального проектування.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Кінематична схема трансмісії наведена на рис. 1. Вона виконана по двопотоковій схемі, коробка передач об'єднана з механізмами повороту у єдиний МПП. Бортові передачі – планетарні одноступінчасті.

Цільова функція має вигляд:

$$F_M = \sum M \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $\sum M$  – сумарна маса основних елементів трансмісії, кг.

Маси зубчастих коліс обчислюються безпосередньо через значення змінних проектування з урахуванням системи обмежень. Маси інших деталей та вузлів – згідно з розрахунками на міцність, витривалість та (або) жорсткість.

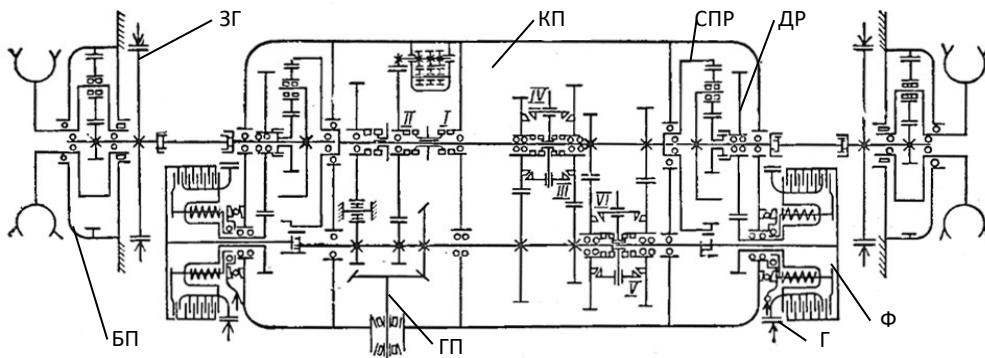


Рисунок 1 – Кінематична схема трансмісії транспортера-тягача МТ-ЛБ:

ГП – головна передача; КП – коробка передач; ДР – додатковий редуктор; Ф – фрикціон МПП; Г – гальмо МПП; СПР – підсумувальний планетарний ряд; ЗГ – зупиночне гальмо; БП – бортова передача

Змінними проектування обрано геометричні параметри зачеплень [3] – модулі  $m$ , числа  $z$  та кути нахилу  $\beta$  зубців, а саме: для ГП –  $m_{\text{ГП}}$ ,  $z_{\text{ГП1}}$ ,  $z_{\text{ГП2}}$ ,  $\beta_{\text{ГП}}$ ; для КП –  $m_{\text{КП}\mu}$ ,  $z_{\text{КП}\mu,1}$  ( $\mu = 2, \dots, k-1$  – номер передачі переднього ходу); для ДР –  $m_{\text{ДР}}$ ,  $z_{\text{ДР1}}$ ,  $z_{\text{ДР2}}$ ; для СПР –  $m_{\text{СПР}}$ ,  $z_{\text{СПРс}}$ ,  $z_{\text{СПРe}}$ ; для БП –  $m_{\text{БП}}$ ,  $z_{\text{БПс}}$ ,  $z_{\text{БПе}}$ . З метою скорочення розмірності задачі числа зубців ведених коліс КП  $z_{\text{КП}\mu,2}$  не є змінними проектування, а розраховуються через числа зубців привідних коліс  $z_{\text{КП}\mu,1}$  та наперед задані передавальні відношення трансмісії  $i_{\text{ГП}}$ .

Побудовано систему числових та функціональних обмежень на змінні проектування [3]. Вони враховують конструктивні особливості трансмісії, геометро-кінематичні характеристики зубчастих передач, міцність та витривалість зачеплень, а також габарити існуючого ТВ.

Перші розрахунки за допомогою методу ЛПТ показали, що кількості пробних точок  $2^{20}$  не є достатньою для отримання необхідного результату. Тоді було запропоновано додатково застосувати внутрішній ЛПТ-пошук. А саме, у зовнішньому циклі генерується ЛПТ-послідовність для усіх змінних проектування, окрім  $z_{\text{КП}\mu,1}$ , а у внутрішньому – ЛПТ-послідовність для пробних точок  $z_{\text{КП}\mu,1}$  з урахуванням звуження діапазонів  $z_{\text{КП}\mu,1\text{min}}$ ,  $z_{\text{КП}\mu,1\text{max}}$ .

Після цього було розроблено алгоритм оптимального проектування трансмісії, дивись рис. 2. Розглянемо його основні етапи.

1. *Завдання вхідних даних.* Їхньою основою є геометричні та кінематичні параметри базової трансмісії МТ-ЛБ, а також фізико-механічні властивості матеріалів зубчастих коліс та валів. Також вводяться числові обмеження на змінні проектування,

2. *Генерування зовнішньої ЛПТ-послідовності* для зондування усіх змінних проектування, окрім  $z_{\text{КП}\mu,1}$ , з одночасним урахуванням їхніх числових обмежень.

3. *Генерування внутрішньої ЛПТ-послідовності* для зондування  $z_{\text{КП}\mu,1}$ , з одночасним урахуванням їхніх числових обмежень.

4. *Перевірка функціональних обмежень.*

5. *Формування масиву можливих варіантів розв'язку.* Якщо пробна точка проходить всі обмеження, то для неї розраховується значення цільової функції (1). Після цього точка потрапляє до таблиці можливих варіантів. Це двовимірний масив, в ньому кожному номеру точки відповідає значення цільової функції, а також набір відповідних значень змінних проектування.

6. *Пошук найкращого варіанта* (пробної точки, що відповідає мінімальному значенню цільової функції). Він здійснюється шляхом сортування масиву одним із загальновідомих методів, наприклад, бульбашковим сортуванням.

#### IV. ВИСНОВКИ

Розрахунки з використанням чотирьох двигунів підвищеної потужності показали, що забезпечено розміщення нових варіантів трансмісії у існуюче ТВ замість базової при одночасному підвищенні потужності двигуна з 240 до 300, 326, 408, 448 к.с. При цьому досягнуто зниження маси нових варіантів трансмісії в порівнянні з базовою 533,2 кг відповідно на 14,6%, 9%, 0,3%, 1,1%, а також на 16,4% для базового двигуна в 240 к.с.

Таким чином, успішно розв'язано задачу оптимального проєктування за масою механічної двопотокової трансмісії гусеничної машини на прикладі транспортера-тягача МТ-ЛБ.

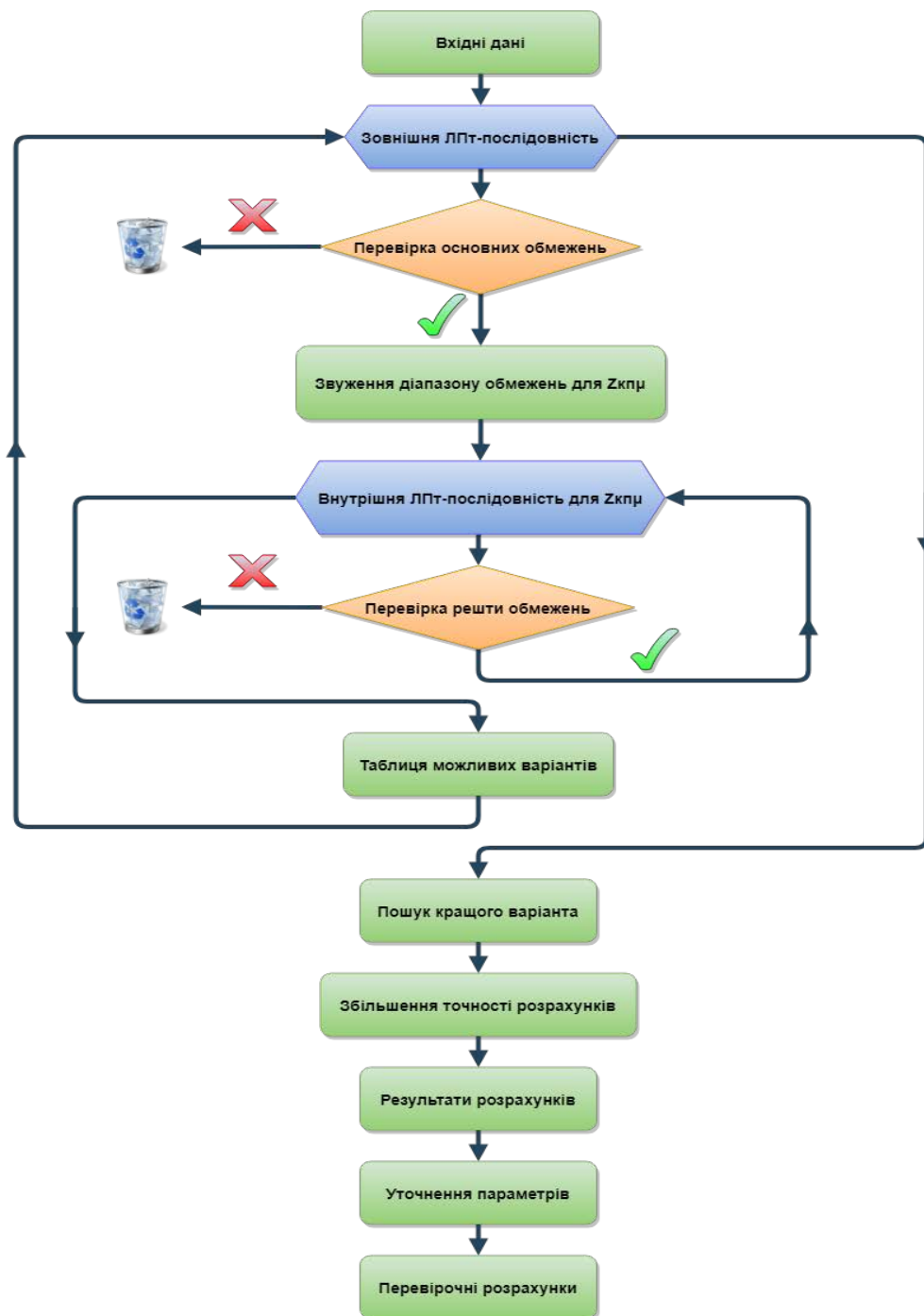


Рисунок 2 – Схема алгоритму оптимального проєктування механічної двопотокової трансмісії

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Бондаренко О. В., Устиненко О. В., Протасов Р. В. *Оптимізація співвісних ступінчастих приводів машин за масогабаритними характеристиками на прикладі тривальних коробок передач* [Електронний ресурс]: монографія. Харків, НТУ "ХПІ", 2024. 124 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/74074>. DOI: <https://doi.org/10.20998/978-617-05-0440-1>
- [2] I. Sobol', D. Asotsky, A. Kreinin, S. Kucherenko. Construction and Comparison of High-Dimensional Sobol' Generators. *Wilmott Journal*, 2011, Nov, pp. 64–79.
- [3] O. Ustynenko, O. Bondarenko, I. Klochkov, R. Protasov, M. Božanský, S. Andrienko. Mathematical Model and Optimization Algorithm by Mass of Tracked Load-Carrier/Prime Mover MT-LB Transmission. *Strojnícky časopis – Journal of Mechanical Engineering*. SjF STU in Bratislava, 2022. Volume 72 (2022): Issue 1 (April 2022). Pp. 125–134. DOI: <https://doi.org/10.2478/scjme-2022-0012>

# Випробування гідроприводу автомобіля

Андрій Щербина, Олександр Слюсаров, Нікіта Ліньков

*Національний університет «Запорізька політехніка»  
м. Запоріжжя, Україна*

## I. ВСТУП

Роль гідравліки та гідроприводу в сучасному машинобудуванні важко не помітити і недооцінити. Будь-який автомобіль, літальний апарат, морське судно не обходиться без застосування гідравлічних систем. Важливою сферою застосування гідравліки є автомобільна промисловість. Гідравлічні гальмівні системи необхідні у транспортних засобах, оскільки в них використовується гідравлічна рідина для передачі тиску, що чиниться на педаль гальма, на колеса автомобіля, що дозволяє йому зупинитися безпечно та ефективно. Крім того, системи рульового управління з гідропідсилювачем забезпечують більший контроль та маневреність автомобіля. Не кажучи вже про спеціалізовані транспортні засоби такі як автомобільні крани, екскаватори та самосвали які використовують гідравлічні системи для підйому та переміщення важких предметів. Перевагою гідравліки в цьому устаткуванні є її здатність створювати більшу силу за компактних розмірів. Гідравлічні циліндри та насоси дозволяють такому устаткуванню виконувати складні завдання.

Гідравлічний привод – це система машин і апаратів для передачі механічної енергії за допомогою рідини; в гідравлічному приводі використовується потенційна енергія тиску рідини. Основними елементами гідроприводу є: гідромашини, гідроапаратура, кондиціонери робочої рідини, гідроємності, гідролінії. А також всі гідравлічні пристрої повинні бути оснащені ущільненнями для герметизації з'єднань.

## II. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У ході випробувань гідравлічних приводів автомобілів визначають їх характеристики в цілому та їх окремих вузлів та систем; перевіряють взаємну відповідність всіх елементів гідроприводу; визначають міцність деталей та вузлів; перевіряють надійність гідроприводу та їх відповідність автомобілям, які з ними експлуатуватимуться.

Тому об'єктами випробувань може бути гідропривод у зборі, тобто у такому вигляді, в якому він встановлюється на автомобіль, а також складові гідроприводу його вузли, деталі та системи. До об'єктів випробувань можуть бути віднесені, крім того, матеріали, з яких виготовлені деталі гідроприводу та робоча рідина.

Окремі вузли та деталі гідроприводу піддаються роздільним випробуванням, оскільки їх характеристики багато в чому визначають якість гідроприводу в цілому (рис.1).

Випробування ГМП за призначенням поділяються на доводочні та контрольні.

При доводочних випробуваннях проводиться всебічне дослідження робочих процесів гідроприводу в цілому так і його функціональних вузлів та елементів. При цьому визначаються, оцінюються, покращуються і надалі нормуються потенційні властивості об'єктів, що досліджуються. При контрольних випробуваннях гідроприводу визначаються та перевіряються основні параметри вузлів та елементів гідроприводу. До таких параметрів відноситься: тиск, витрата (для насосів – подача), потужність, повний ККД, величини крутних моментів і швидкостей обертання валу для гідромоторів (і поворотних гідродвигунів), значення зусиль на штоках і швидкостей переміщення штоків для гідроциліндрів.



Рисунок 1 - Устаткування для випробування окремих елементів гідроприводу автомобіля

В залежності від мети тих чи інших випробувань можуть також визначатися такі параметри як:

- час спрацювання гідроапарата - час від моменту подачі сигналу до моменту встановлення запірно-регулюючого елемента в задане положення або до моменту встановлення заданого тиску.

- максимальна витрата – витрата, перевищення якої веде до порушення нормальної роботи гідроапарата, або його значення, встановлене виробником.

- мінімальний тиск управління - мінімальний тиск, при якому ще забезпечується чітке функціонування гідроапарата, що випробовується, у всьому встановленому діапазоні температур робочої рідини.

- надклапанна порожнина - порожнина в корпусі клапанного гідроапарата, тиск з боку якої притискає клапан до сідла.

- відносна похибка поділу потоку - відношення різниці значень витрат у відводах діляника потоку до меншого з цих значень, виражене у відсотках.

- перехідний процес - процес зміни робочого параметра гідроапарата від одного значення, що встановилося до іншого, обумовлений зміною положення його запірно-регулюючого елемента.

- середнє значення витримки часу - середнє арифметичне багаторазових вимірів встановленої витримки часу.

- функціонування - здійснюване відповідно до призначення взаємодія елементів гідроапарату один з одним і з робочим середовищем у процесі роботи.

### III. ВИСНОВКИ

Випробування гідроприводу – необхідна та важлива процедура, яка дозволяє засвідчити надійність обладнання та трубопроводів, що працюють під тиском, протягом усього терміну їхньої служби, що вкрай важливо з огляду на серйозну небезпеку для життя та здоров'я людей у разі їх несправностей та аварій в такому масовому та небезпечному об'єкті як автомобіль, особливо під час виконання його функціональних призначень.

# Сертифікація автомобілів

## Андрій Щербина, Олександр Слюсаров

*Національний університет «Запорізька політехніка»  
м. Запоріжжя, Україна*

### I. ВСТУП

Сучасне суспільство висуває високі вимоги до якості продукції та безпеки її використання. Якість продукції забезпечується механізмом сертифікації, який полягає в тому що відповідний компетентний орган видає свідоцтво, що виробництво та сама продукція відповідає певним стандартам.

### II. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Слід відзначити, що сертифікація це є один із видів випробувань автомобілів. І залежно від характеру проведення цих випробувань, сертифікація може бути обов'язковою або добровільною. І хоча з 2018 року в Україні відмінена обов'язкова сертифікація, але вся вироблена або ввезена продукція на територію України повинна відповідати Технічним регламентам тобто мати сертифікат відповідності. Треба відзначити, що сертифікація є обов'язковою умовою для реєстрації та постановки на облік автомобіля в Україні. Мета цієї процедури – перевірка відповідності конструкції транспортного засобу технічній документації виробника та нормативно-технічній документації України. Автотранспортні засоби є об'єктами підвищеної небезпеки і тому підлягають сертифікації.

В загалі основними цілями сертифікації є:

- формування найбільш сприятливих і комфортних умов діяльності для різного роду підприємств, різноманітних організацій, а також підприємців на єдиному соціально-економічному полі країни;
- надання, за допомогою видачі сертифіката, можливості участі в міжнародному економічному, а також науково-технічному співробітництву, і, зокрема, в міжнародній торгівлі;
- допомога стандартному споживачеві в найбільш грамотному виборі продукції та/або послуг;
- захист споживача від можливості надання виробником (продавцем, виконавцем) неякісного товару та/або послуг;
- гарантований доказ показників якості, заявлених безпосередньо самим виробником;
- контроль у сфері безпеки об'єкта для навколишнього середовища, життя, здоров'я, майна людей.

Сертифікація на автомобільному транспорті перебуває у постійному розвитку і в даний час вона є комплексом систем сертифікації за різними напрямками діяльності. Вона поділяється на дві великі групи: сертифікація автомобільної продукції та сертифікація автомобільних послуг.

В свою чергу сертифікація автомобільної продукції поділяється на:

- сертифікацію автотранспортних засобів;
- сертифікацію гаражного обладнання;
- сертифікацію нафтопродуктів для автотранспортних засобів.

Сертифікація автомобільних послуг поділяється на:

- сертифікацію послуг з технічного обслуговування та ремонту автотранспортних засобів;
- сертифікацію пасажирських перевезень;
- сертифікацію вантажних перевезень.

Сертифікація автомобіля – це обов'язкова перевірка автомобіля на відповідність вимогам та стандартам чинного законодавства України. В свою чергу законодавство України в сфері автомобільного транспорту, а саме в сфері їх будівництва, експлуатації, безпеки та випробування покладається на систему єдиних правил Європейської економічної комісії (ЄЕК) ООН. Треба відзначити, що необхідність в системі єдиних правил виникла в наслідок того, що розроблені в різних країнах незалежно один від одного національні стандарти в автомобільній промисловості, хоч і регламентували близькі між собою властивості та показники, але вони відрізнялися як нормативами, так і методами випробувань, що призвело до збільшення витрат виробників під час експорту своєї продукції до інших країн через необхідність багаторазового проведення процедури докази відповідності вимогам країни-імпортера.

Діяльність різних європейських країн по узгодженню стандартів автомобільної промисловості призвела до того, що 20 березня 1958 року в Женеві, під егідою ЄЕК ООН, було укладено «Угоду про прийняття однакових умов офіційного затвердження та про взаємне визнання офіційного затвердження предметів обладнання та частин механічних транспортних засобів та причепів» (Женевська Угода 1958 р.).

Таким чином, головна мета Женевської Угоди 1958 року це встановлення процедур для прийняття єдиних технічних приписів щодо нових колісних транспортних засобів і предметів обладнання для них за умови взаємного визнання офіційних затверджень, виданих на підставі цих приписів – Правил ЄЕК ООН, доданих до Женевської Угоди 1958 року.

Ці правила регулюють питання, що стосуються пасажирських автомобілів, вантажних автомобілів, причепів, мопедів і мотоциклів, транспортних засобів загального користування й інших типів транспортних засобів, предметів їх обладнання і частин, і тією або іншою мірою застосовуються Договірними Сторонами Женевської Угоди 1958 року. Правила ЄЕК ООН охоплюють безпеку транспортних засобів, захист довкілля, ефективність енергоспоживання, і захист від викрадення транспортних засобів. На теперішній час у рамках Женевської Угоди 1958 р. прийнято біля 130 Правил ЄЕК ООН.

10 лютого 2000 року Україна приєдналася до Угоди про прийняття єдиних технічних приписів для колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин, які можуть бути встановлені та/або використані на колісних транспортних засобах, і про умови взаємного визнання офіційних затверджень, виданих на основі цих приписів, підписаної 20 березня 1958 року в м. Женеві, з поправками 1995 року.

Ці Правила регламентують питання колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин до них за критеріями безпеки, екологічності та енергоефективності.

### III. Висновки

В Україні, попри те, що вона узяла зобов'язання застосовувати загальний для усіх держав перелік Правил ЄЕК ООН із відповідними серіями поправок, для підтвердження відповідності фактично застосовуються не усі, а тільки окремі Правила, причому, із більш ранніми серіями поправок. З метою здійснення заходів щодо виконання Женевської Угоди 1958 року, Мінінфраструктури наказом від 01.03.2013 № 126 утворено Комісію Мінінфраструктури з питань забезпечення виконання Женевської Угоди 1958 року. Україна цілеспрямовано йде шляхом гармонізації свого законодавства, в галузі рухомого складу автомобільного транспорту, до європейського.

СЕКЦІЯ 10



# ЛІСОВА ТА ПРОМИСЛОВА ІНЖЕНЕРІЯ

# Дослідження впливу розміщення сучків на процес розколювання деревини

Володимир Кий, Юрій Цимбалюк, Богдан Магура, Володимир Гобела

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

## I. Вступ

Ділення деревини вздовж волокон, у випадку відсутності вимог до чистоти оброблюваної поверхні, найбільш доцільно проводити способом розколювання. У порівнянні з іншими способами (розпилювання, силове різання, ділення розжареною дротиною, тощо) це найбільш раціональний, енергозберігаючий та продуктивний спосіб. Устаткування, що використовується для розколювання деревини, є доволі простим в конструктивному плані, надійним, простим в експлуатації та не потребує додаткової навчальної підготовки обслуговуючого персоналу. Все це створює позитивні передумови для широкого застосування розколювання у разі необхідності зменшення поперечного розміру деревини, якщо відсутні вимоги до чистоти оброблюваної поверхні.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Моделюванню процесу розколювання деревини та безстружкового різання деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) з точки зору проектування геометричних параметрів інструментів присвячена робота [1]. Автори роботи [2] також досліджували вплив геометрії інструментів, а саме, форми робочого клина розколювальної машини, на зусилля розколювання. Питання розколювання великих колод з допомогою колун конусної форми базованого на екскаваторі висвітлюються в роботі [3]. В статті [4] наводяться результати експериментальних досліджень процесу розколювання мерзлої деревини.

Дослідження процесів, що відбуваються під час розколювання деревини, здійснювалося в переважній більшості на взірцях, рідше на лісоматеріалах промислових розмірів, в яких відсутні будь-які вади [5], [6]. І лише в працях окремих дослідників вказується, що наявність сучків при діленні деревини вздовж волокон шляхом впровадження клиновидного тіла може привести до збільшення максимального зусилля розколювання в 1,5 ... 2 рази.

Відомо, що середній діаметр сучка залежить від об'єму стовбура. В місці вrostання вітки в стовбур відношення діаметра сучка до товщини круглого лісоматеріалу може досягати у берези - 0,36, у ялини - 0,18, у сосни - 0,28, у осики - 0,42. Кути вrostання сучків у ялини змінюються від 70° до 132° з найбільш розповсюдженим кутом 96°, у сосни - від 25° до 68° із середнім кутом 50° і в берези - від 11° до 65° із середнім кутом - 30°. Річні шари стовбура дерева при зустрічі із сучком змінюють свій напрям і переходять в річні шари сучка, оточуючи його серцевину, яка з'єднується із серцевиною стовбура. Із схеми утворення сучка (рис.1) випливає, що на ділянці між основою вітки і серцевиною лісоматеріалу сучок має форму конуса.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

За результатами попередніх досліджень виходить, що максимальне розколююче зусилля може бути визначено за формулою

$$P_{\max} = 2 \cdot \frac{\delta_{3M} \cdot b}{\cos \alpha} \cdot (\operatorname{tg} \alpha + f) \cdot n_0 \quad (1)$$

де  $\delta_{3M}$  – допустиме напруження стиснення деревини вздовж нормалі до грані клина;  $b$  – ширина лінії контакту деревини з гранями клина;  $\alpha$  – кут загострення клина;  $f$  – коефіцієнт тертя;  $n_0$  – величина, що характеризує глибину входження клина.

Відомо також, що наявність сучка впливає на максимальне зусилля розколювання тільки у випадку розміщення його в площині ділення у початковій зоні розколювання. Тоді найбільше зусилля опору розколюванню буде

$$P_{\max}^1 = 2 \cdot (\delta_{3M} \cdot F + \delta_{3M}^1 \cdot F^1) \cdot \frac{f + \operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha} \quad (2)$$

де  $F^1$  – площа контакту сучка з гранню клина;  $\delta_{3M}^1$  – допустиме напруження стиснення сучка вздовж нормалі до грані клина;  $F$  – площа контакту деревини з гранню клина.

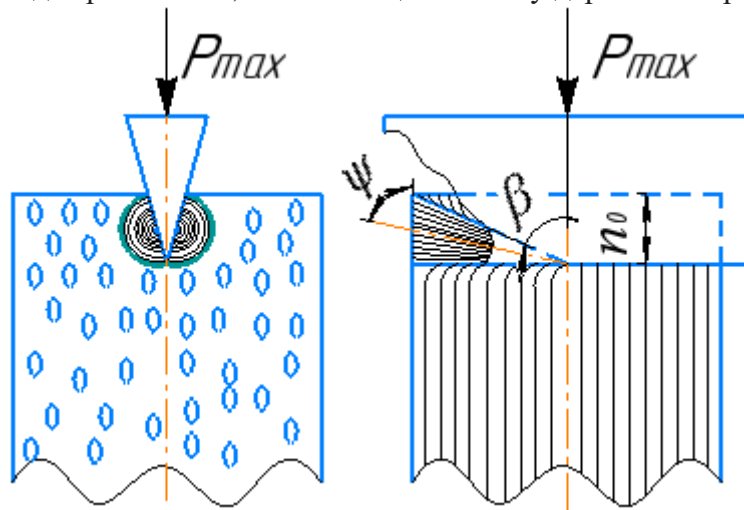


Рисунок 1 – Схема ділення клином сучка, що має кут вrostання  $\psi$

Позначимо

$$\frac{P_{\max}^1}{P_{\max}} = K_C \quad (3)$$

де  $K_C$  – коефіцієнт, що враховує вплив сучка, розміщеного в площині ділення в початковій зоні розколювання на максимальне зусилля розколювання.

Підставляючи в рівняння (3) залежності (1) і (2) отримаємо

$$K_C = 1 + \frac{\delta_{3M}^1 \cdot F^1}{\delta_{3M} \cdot F} \quad (4)$$

Найбільший вплив на величину розколювальної сили сучок матиме, коли його діаметр  $d_C$  в місці виходу із деревини буде рівний граничному входженню клина  $n_0$ . Враховуючи це, а також виходячи із рис. 2, можемо записати

$$F^1 = 1 + \frac{1}{4} n_0 \cdot b \quad F = \frac{3}{4} \cdot n_0 \cdot b_0 \quad (5)$$

Коефіцієнт  $K_C$  набуде вигляду

$$K_C = 1 + \frac{\delta_{3M}^1}{3 \cdot \delta_{3M}} \quad (6)$$

Тоді

$$\delta_{3M}^1 = \frac{\delta_X^1 \cdot / \cos \psi /}{1 + \left( \frac{\delta_X^1 \cdot / \cos \psi /}{\delta_Y^1} - 1 \right) \cdot \cos^2 \alpha} \quad (7)$$

де  $\delta_X^1$  – напруження стиснення сучка вздовж волокон;  $\delta_Y^1$  – напруження стиснення сучка поперек волокон;  $\psi$  – кут вrostання сучка.

#### IV. ВИСНОВКИ

Із співвідношення (6) можна зробити висновок, що найменше значення  $\delta_{3M}^1$ , а відповідно і  $K_C$ , буде при куті вrostання сучка рівному  $90^\circ$  і далі зростатиме із зменшення або збільшенням цього кута.

Отже коефіцієнт  $K_C$  дає можливість врахувати зростання величини необхідного розколювального зусилля в залежності від розміщення сучків у площині розколювання та їх параметрів і на його величину найбільше впливає значення границі міцності сучка на стиснення вздовж і поперек волокон.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1]. Warguła, Ł., Wojtkowiak, D., Kukla, M. et al. Modelling the process of splitting wood and chipless cutting *Pinus sylvestris* L. wood in terms of designing the geometry of the tools and the driving force of the machine. *Eur. J. Wood Prod.* 81. – 2023. – p.223–237. <https://doi.org/10.1007/s00107-022-01878-4>.
- [2]. Volodymyr Kyu, Bohdan Mahura, Oleksandr Zhydkovych. The impact of working wedge shape of wood-splitting machine on the splitting effort value // *Mobile energy systems-Hydraulics-Environment-Ergonomics of mobile machines. Peer-reviewed proceedings.* – Zvolen, Slovakia. – 2013. – p. 134-143.
- [3]. Erber G., Stampfer K. Splitting of large logs with an excavator-based cone splitter. *Int. J. For. Eng.* 31(2). – 2020. – p.146–155.
- [4]. Volodymyr Kyu, Bohdan Mahura, Ihor Koliadzhyn. Experimental study of frozen timber splitting process // *Utilization of Agricultural and Forest Machinery in Research and Teaching. Monograph, Volume 5.* – Krakow, Poland, – 2016. –p. 241-248.
- [5]. Кий В.В. Розколювання деревини з наявними в площині ділення сучками. *Вісник Харківського національного техн. ун-ту с/г ім. П. Василенка.* – Харків. – 2012.– Випуск 123 "Системотехніка і технології лісового комплексу". – С. 202-207.
- [6]. Кий В.В., Матушевський В.Б. Аналіз досліджень з питань розколювання деревини. "Наук. вісник НЛТУ України". Збірн. наук.-техн. праць, вип. 16.3. Львів: НЛТУ України, 2006.- С. 100-104.

# Економічний аспект надійності роботи підвісних лісотransпортних систем

Ігор Рудько, Володимир Гобела

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

**Василь Барияк**

*Національний університет “Львівська політехніка”  
м. Львів, Україна*

## I. ВСТУП

Економічний критерій є одним з основних для оцінювання та обґрунтування потреби підвищення досягнутого рівня надійності, а також подальшого розв’язання більшості практичних завдань модернізації підвісних лісотransпортних систем (ПЛС) [1]. Оскільки теперішній рівень розвитку промислового виробництва дозволяє досягати надзвичайно високих показників якості і надійності роботи транспортувальних установок, то у практичному плані проблема полягає у тому, щоб виробничі затрати для досягнення поставленої мети не перевищувати економічний ефект від прогнозованої підвищеної надійності функціонування таких систем і, зрештою, загальний результат від вжитих заходів не був негативним. Звичайно, у виробничій практиці упровадження заходів щодо підвищення надійності роботи ПЛС не завжди потребує суттєвих фінансових інвестицій, особливо за наявності сформованих науково обґрунтованих і раціональних у практичному плані рішень. Однак, окремі пропозиції, зокрема щодо підвищення якості виготовлення та внесення суттєвих змін до конструкцій машин, використання новітніх матеріалів тощо, в подальшому, зазвичай, призводять до збільшення експлуатаційних виробничих витрат.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У процесі аналізу надійності й ефективності роботи ПЛС, зазвичай, акцентують увагу на проведенні технічної, енергетичної, функціональної експлуатаційної та лісогосподарської експертиз [2-4].

Під час проведення технічної експертизи, в основному, перевіряють якість виготовлення машин та їх здатність виконувати експлуатаційні функції у визначених виробничих умовах. При цьому з використанням встановлених лінійних і вагових параметрів заздалегідь оцінюють стійкість установок як у робочому, так і у транспортному положеннях (під час транспортування тримального, тягового, вантажопідіймального канатів, додаткових засобів) тощо.

Ефективність роботи та експлуатаційні можливості ПЛС багато у чому визначаються також енергетичною місткістю виконуваних операцій. Тому, залежно від енерговитрат, оцінюють умови й режими експлуатації підвісних установок, способи виконання операцій та прийоми роботи операторів, організаційні процеси. На основі отриманих результатів розраховують питому енергоємність технологічно-транспортного процесу та коефіцієнт енергоємності  $K_e = \varepsilon_{ycm} / \varepsilon$  (залежно від енергоємності канатної установки  $\varepsilon_{ycm}$  й

енергоємності лісозаготівельного процесу  $\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ , котрий включає  $n$  технологічно-

транспортних операцій). Загалом, мінімізація енергетичного завантаження конструкційних елементів ПЛС є одним з головних шляхів підвищення їх безвідмовності.

У процесі проведення функціональної експлуатаційної експертизи ПЛС оцінюють, насамперед, раціональне використання режимів роботи, відповідність фактичної тривалості технологічно-транспортного циклу нормативним показникам, ефективність сумісного використання канатних систем з іншими лісозаготівельними машинами. Як узагальнений показник, здебільшого, використовують коефіцієнт рівномірності функціонування  $K_{p,\phi} = t_{u,sp} / t_{u,n}$ , який обчислюють залежно від середньостатистичної ( $t_{u,sp}$ ) та нормативної ( $t_{u,cr}$ ) тривалості технологічного циклу.

Під час проведення функціональної лісогосподарської експертизи ПЛС оцінюють дотримання встановлених лісівничих вимог, наприклад потребу у збереженні підросту, підліску й ґрунтового покриву, наявні пошкодження стовбурів, крон і корневих систем дерев тощо. Як узагальнені показники при цьому, здебільшого, використовують коефіцієнт збереження підросту (підліску)  $K_{з.п.} = n_{з.п} / n_n$  ( $n_{з.п}$  і  $n_n$  - відповідно, кількість збереженого та загальна кількість підросту (підліску) на лісосіці), а також коефіцієнти пошкодження поверхні ґрунту  $K_{sp} = S_1 / S$  ( $S_1$  і  $S$  - відповідно, площа пошкодженої і загальна площа поверхні ґрунту на лісосіці) та дерев (стовбурів, крон та ін.) під час проведення рубок  $K_{n,d} = n_{n,d} / n_d$  ( $n_{n,d}$  і  $n_d$  - відповідно, кількість пошкоджених і загальна кількість дерев, залишених на лісосіці після проведення рубок).

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Економічний аспект надійності роботи типових конструкцій ПЛС враховують шляхом розрахунку економічного показника надійності як відношення витрат, пов'язаних з їх виготовленням ( $Q_{виг}$ ) і експлуатуванням ( $Q_{експл}$ ), до проектного строку експлуатації  $T_{експл}$ , тобто  $K_e = (Q_{виг} + Q_{експл}) / T_{експл} \rightarrow \min$  (мінімальне значення показника  $K_e$  досягають за рахунок раціонального розподілу вкладень ресурсів між виробничою і експлуатаційною сферами). Загалом, окремі варіанти досягнення потрібного рівня надійності порівнюють за умовою максимізації сумарного економічного ефекту (прибутку)  $Q_{пр}(t)$  із урахуванням експлуатаційних виробничих витрат  $Q_{виг}(t)$  (на проектування, виготовлення, випробування, налагодження й транспортування машин на лісосіку тощо) і  $Q_{експл}(t)$  (на експлуатацію в цілому, зокрема технічне обслуговування, ремонтування, проведення профілактичних заходів тощо), тобто  $Q(t) = Q_{пр}(t) - Q_{виг}(t) - Q_{експл}(t)$ . У перспективі величина  $Q_{експл}$  зростатиме, оскільки старіння вузлів та агрегатів ПЛС призводитиме до потреби збільшення ресурсів (для відновлення втрачених властивостей), а величина  $Q_{пр}(t)$  – спадатиме, оскільки збільшення тривалості простоїв, проведення ремонтів й технічного обслуговування зменшуватимуть продуктивність роботи. При цьому, залежно від тривалості експлуатації ПЛС  $T_{макс}$ , при якій досягається максимальний економічний ефект, й граничного строку служби  $T_{сп}$  встановлюють тривалість економічно доцільної експлуатації  $T_{макс} \leq T_{експл} \leq T_{сп}$  й строк окупності  $T_{ок}$ .

Можливість ефективного виробничого експлуатування ПЛС багато в чому залежить від надійності роботи їхніх основних елементів, тобто тривалості здатності зберігати у встановлених межах значення ключових експлуатаційних параметрів для виконання встановлених функцій [5]. Технологічно величина зміни завантаженості ПЛС у процесі її експлуатації залежить від багатьох виробничих чинників. Тому в інженерній практиці оцінюють імовірність безвідмовної таких систем за величиною максимального навантаження  $P(R \geq F_{max})$  й унеможливлення явища резонансу (оскільки у процесі роботи

транспортувальних установок їхні параметри змінюються у широкому діапазоні, то виникнення резонансу є можливим навіть при раціональному виборі основних параметрів канатної оснастки).

Передчасна втрата основних показників якості ПЛС визначає їхній ресурс до проведення ремонту, а також затрати часу та засобів, необхідних для відновлення попередньої працездатності. Залежно від величини економічних втрат, обумовлених роботою на полегшених режимах та/або із зниженими параметрами, тривалості простоїв та інших факторів встановлюють допустиму ймовірність безвідмовної роботи таких систем  $P(t) \approx 0,9$ , при цьому для менш відповідальних вузлів та елементів приймають  $P(t) < 0,9$ , для елементів канатної оснастки, привода, вантажної каретки  $0,9 \leq P(t) < 1$ .

На ПЛС у процесі їх технічної експлуатації діє ряд несприятливих факторів, обумовлених впливом навантажувальних режимів, кліматичних та ґрунтових умов тощо. Зниження дії зазначених несприятливих факторів теж є резервом для підвищення безвідмовності та довговічності канатних установок [6].

Для забезпечення більш високих параметрів надійності ПЛС, порівняно з типовими конструкціями, необхідно аналізувати величину додаткових затрат, використовуючи поняття змінної складової, обумовленої вимогами надійності, т. зв. ціни надійності  $Q_n$  (в окремих випадках з економічної точки зору ПЛС вигідно виготовляти більш надійними навіть у тому разі, якщо нормативні вимоги безвідмовності за умовами експлуатації до них не є надто високими).

#### IV. ВИСНОВКИ

Під час обґрунтування й вибору оптимальних рішень, а також оцінювання різних варіантів та можливостей із забезпечення і підвищення надійності ПЛС, використання економічного критерію є надзвичайно важливим. У процесі формування переліку показників для оцінювання надійності ПЛС і розв'язанні завдань з підвищення їх безвідмовності загальний методологічний підхід повинен враховувати специфічні особливості конструкції машини та застосовувані режими виробничої експлуатації [7]. Загалом урахування економічного аспекту під час оцінювання надійності ПЛС є необхідним, оскільки підвищення їх безвідмовності та довговічності на практиці, зазвичай, пов'язане з додатковими витратами ресурсів, а також з подальшим прогнозуванням ефективності таких вкладень, затрат на ремонт і обслуговування, мінімізацією простоїв машини тощо.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Мартинців М. П., Сологуб Б. В. Матіїшин. М. В. Динаміка та надійність підвісних канатних систем. Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". 2011. 188 с.
- [2] Матіїшин М. В., Мартинців М. П., Рудько І. М. Основні показники надійності роботи підвісних канатних лісотранспортувальних систем. *Міжнародний науково-технічний журнал "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах"*. Хмельницький. 2002. № 1. С. 140-144.
- [3] Матіїшин М. В., Мартинців М. П., Мартинців В. М., Рудько І. М. Оцінка надійності роботи канатних лісотранспортних систем. *Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології"*. Хмельницький. 2002. № 3,4. С. 160-166.
- [4] Матіїшин М. В., Мартинців М. П., Рудько І. М. Підвищення надійності канатних лісотранспортувальних систем. *Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології"*. Хмельницький: Вид-во ТУ "Поділля". 2003. № 1. С. 44-47.
- [5] Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Сердюченко Ю. Ю., Лимар П. В. Динаміка і оптимізація режимів руху машин лісового комплексу: монографія. К.: ЦП "КОМПРІНТ". 2017. 247 с.
- [6] Лютий С. М., Рудько І. М. Обґрунтування критеріїв оцінки надійності роботи канатних лісотранспортних установок. *Машинознавство: всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал*. Львів. 2003. № 9(75). С. 45-49.
- [7] Mogni O., Marchi L., Lyons C. K., Grigolato S., Cavalli, R., Röser D. Skyline tensile forces in cable logging: Field observations vs. software calculations. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*. 2021. Vol. 42, № 2. Pp. 227-243.

# Mobile automatic device for forest regeneration

Paweł Tylek

*University of Agriculture in Krakow, Poland*

Florian Adamczyk, Marek Szychta,

Jacek Wojciechowski, Sebastian Sobocki

*Łukasiewicz Research Network - Poznań Institute of Technology, Poland*

Grzegorz Szewczyk, Mariusz Kormanek

*University of Agriculture in Krakow, Poland*

## I. INTRODUCTION

Forest management tasks, including regeneration with forest tree seedlings produced in container nurseries under controlled conditions, are usually performed manually, using a dibble, which is associated with a very high level of energy expenditure. This is sometimes done with the use of planters with designs that date from the 1970s, coupled with universal tractors [7]. Other equipment, applied sporadically, includes planting heads mounted on high-power carriers and weighing from several to over 20 tons. However, even these forms of mechanization cannot be classified as cases of full labor automation because the seedlings are usually removed from the containers and put into the planter tray by hand. The introduction of automated technology systems helps to eliminate people from heavy forestry work and is inevitable in view of the foreseeable demographic and social problems leading to difficulties in recruiting low-skilled workers and to the increasing costs of such activities. The aforementioned automation also fits perfectly into the assumptions of the so-called Industry 4.0. Currently, EU forestry does not have automatic planters, hence the need for innovative technologies for establishing forest cultures and afforestation of former agricultural and reclaimed areas, especially with the use of seedlings with covered root systems, grown in container nurseries [1, 2].

## II. PURPOSE AND SCOPE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT WORK

The aim of the project was to develop the construction of an autonomous robot and an innovative technology for setting up forest cultures and afforestation of reclaimed and former agricultural areas. In contrast to classic planting methods, the advantages of the newly designed, innovative automated system include: (1) elimination of manual labor – exclusively remote control of the machine's operation by the employee; (2) increased efficiency – extension of operating times; (3) selection of the optimal driving trajectory; (4) reduction of energy expenditure – elimination of soil surface preparation in order to prepare a planting spot; (5) shortening of the technological process – setting up cultures with seedlings grown in standard containers; (6) increasing the reforestation success due to the reduction of post-planting stress by eliminating the earlier removal of seedlings from their containers, which would cause root ball drying and soil shedding, and by optimizing the vertical placement of the seedling and root ball tightening; (7) adaptation to operate in areas where rooting out has not been done and in areas with a high inclination – the application of satellite navigation systems and automatic leveling; (8) the potential for system expansion, e.g. its further equipment with crop maintenance modules [4, 6].

## III. CONSTRUCTION AND FUNCTIONALITY OF THE NEW STRUCTURE

As part of the project, the functionality and boundary conditions of the machine were determined, which allowed for the development of a virtual CAD-3D solid model of the platform

and working modules of the machine (Fig. 1). The module was subjected to simulation tests of kinematic behaviors, excitation functions were determined, computational models were developed, and engineering analyses of the machine structure were carried out [5]. This allowed for preparing the technical documentation of the prototype of a mobile machine for forest regeneration and afforestation of former agricultural and reclaimed areas. Additional tasks included the documentation and completion of the hydraulic and pneumatic drives and controls [8]. Research models of the platform and operation units of the machine were built, and were then subjected to operational tests in laboratory and real conditions. The controller of the adaptive manipulator for collecting seedlings from their containers was programmed, and functional as well as operational tests of this unit and its interaction with the mobile machine were carried out. Remote control and satellite navigation systems were constructed and programmed. The ergonomics of the machine structure and the user interface were assessed. Experimental tests of the machine platform were carried out with the use of strain gauge measurement methods in order to verify the calculation models and assess the durability of the structure. On this basis, the technical documentation of the machine was verified and transferred to the Forest Technology Center in Jarocin along with the functional model of the machine.



Figure 1 – 3D model and functional prototype of the machine

The drive system of the machine is designed in such a way that each wheel can be independently set at a different angle in relation to the axis of the drive platform, thanks to which it can move in any direction and turn around its own axis. In addition, each wheel is placed on an independent wheel arm, which allows for a wide range of platform leveling both along and across the direction of driving. The first agrotechnological operation that the machine performs is the preparation of a planting spot by a three-pronged shaft. Then the dibble, inside which a seedling was previously placed, is embedded in the ground. The innovative construction of the dibble frees the seedling while rising and opening at the same time. The last operation shown is tightening the seedling, performed by two wheels set at an angle and hydraulically pressed to the ground. The machine can pick up 600 seedlings at a time (15 containers with 40 seedlings each in a container for coniferous seedlings). The cassettes are placed in a carousel-structured storage unit. A rotating table moves successive cassettes under the manipulator equipped with a set of grippers for picking up seedlings. After emptying a cassette, the rotation of the table introduces another cassette under the gripping unit. The emptied cassettes will be replaced with full ones by the operator during the next service break. The manipulator consists of five grippers, the task of which is to catch (by the root necks) seedlings from one row in the growing container, lift them vertically upwards from their cells and move them over a buffer conveyor, in which the seedlings are placed to transfer them further to the dibble. This solution allows for increasing the efficiency, providing the time reserve for subsequent operation sequences of the manipulator [3]. The solution of the control system provides for three modes of the operator's work: (1) a system of remote control by the operator, designed especially for very difficult terrain; (2) a simple system that helps the operator to drive the vehicle along predetermined tracks. After planning the first passage and feeding the data on the

spacing of planting, the system will automatically determine virtual travelling lines, (3) an advanced guidance system with the possibility of using navigation systems, additionally extended with the vehicle's automatic driving function. Automatic control will be performed by using a specially developed control algorithm, implemented in the main controller of the machine platform.

#### IV. CONCLUSIONS

Unlike classic planting methods, the advantages of the proposed, innovative automated system are:

- (1) elimination of manual work – the employee only remotely controls the operation of the machine;
- (2) increasing efficiency – extending operating times, selecting the optimal driving trajectory;
- (3) reduction of energy expenditure – elimination of surface soil preparation for the construction of the facility;
- (4) shortening the technological process – establishing crops with seedlings grown in standard cassettes;
- (5) increasing the effectiveness of cultivation due to the reduction of post-planting stress, by (a) eliminating early removal of seedlings from the cassettes, which causes the root ball to dry out and fall off, (b) optimization of the seedling verticalization and clamping of the root ball;
- (6) adaptation to work in uncleared terrain and with a steep slope – use of satellite navigation systems and automatic leveling;
- (7) system expansion potential.

#### REFERENCES

- [1] F. Adamczyk, M. Szychta, J. Wojciechowski, et al., "Automatyzacja procesu sadzenia drzew leśnych z zakrytym systemem korzeniowym na przykładzie modelu badawczego automatycznego robota do zakładania upraw leśnych," *Technika rolnicza, ogrodnicza, leśna*, no. 2, pp. 25–30, 2022
- [2] F. Adamczyk, J. Wojciechowski, P. Tylek, et al., "The concept of construction of a mobile automatic device for forest regeneration tasks and afforestation of former farmland and reclaimed areas," in *Proc. Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture: X International Scientific Symposium FMPMSA 2019*, E. Lorencowicz, J. Uziak, and B. Huyghebaert, Eds. 2019, pp. 13-18. <https://doi.org/10.24326/fmpmsa.2019.1>
- [3] S. Sobocki, F. Adamczyk, P. Tylek, et al., "A seedling collection unit of a mobile automatic device for forest tree planting – an extended operating concept," *Forests*, vol. 14, no. 5, p. 997, May 2023. <https://doi.org/10.3390/f14050977>
- [4] R. Tadeusiewicz, P. Tylek, F. Adamczyk, et al., "RoboFoR - automat do sadzenia drzew. Podstawowe moduły i właściwości funkcjonalne," in *Nauka - Technika - Technologia*, vol. 6. Kraków, Poland: Wydawnictwa AGH, 2022, pp. 119–136. <https://doi.org/10.7494/978-83-67427-15-9>
- [5] P. Tylek, G. Szewczyk, M. Kormanek, et al., "Mobile automatic device for forest regeneration and afforestation of former agricultural and reclaimed areas," in *Mobilné energetické prostriedky – Hydraulika – Životné prostredie – Ergonómia mobilnych strojov*. Zvolen, Slovakia: Technická Univerzita vo Zvolene, 2023, pp. 191–200. ISBN 978-80-228-3382-0
- [6] P. Tylek, G. Szewczyk, M. Kormanek, et al., "Design of a planting module for an automatic device for forest regeneration," *Croatian Journal of Forest Engineering*, vol. 44, no. 1, pp. 203–215, 2023. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2023.1722>
- [7] P. Tylek, J. Walczyk, J. M. Sowa, et al., "Koncepcja automatycznej sadzarki do sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym," in *Nowoczesne technologie i inżynieria w zrównoważonym użytkowaniu lasu*, A. Klamerus-Iwan, Ed. 2020, pp. 451–464. ISBN 978-83-66602-04-5
- [8] P. Tylek, J. Wojciechowski, F. Adamczyk, et al., "Drive and hydraulic control of the planting module of the automatic forestry planter," in *Mobilné energetické prostriedky – Hydraulika – Životné prostredie – Ergonómia mobilnych strojov*. Zvolen, Slovakia: Technická Univerzita vo Zvolene, 2021, pp. 242–250. ISBN 978-80-228-3279-3

# The productivity, energy consumption and emissions of recycling wood using a mobile hybrid crusher

Jaakko Hekkala

*Jesa Group Oy, Joensuu, Finland*

Borys Bakay

*Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine*

Kalle Kärhä

*University of Eastern Finland, Joensuu, Finland*

## I. INTRODUCTION

Global energy-related CO<sub>2</sub> emissions grew by 1.1% in 2023, increasing 410 million tonnes (Mt) to reach a new record high of 37.4 billion tonnes (Gt) [1]. In Europe, CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion were totally 7.5 Gt which was 22% of the total global CO<sub>2</sub> emissions in 2021 [2]. The European Union (EU) plays an essential role in the global fight against climate change and mitigation. The EU has a target to cut greenhouse gas (GHG) emissions by at least 55% below 1990 level by 2030 [3]. Furthermore, the EU aims to be climate-neutral by 2050 – an economy with net-zero GHG emissions [4].

According to the preliminary data of Statistics Finland, total GHG emissions in Finland in 2022, excluding the Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) sector, were 46 Mt CO<sub>2</sub> [5]. Emissions from the Emissions Trading Sector (ETS) were 19 Mt CO<sub>2</sub>, and emissions from sector outside the ETS, i.e. the Effort Sharing Sector (ESS), were 27 Mt CO<sub>2</sub> in 2022. The ESS includes transport, agriculture, building-specific heating, non-road mobile machinery (NRMM), waste management, F-gas emissions, and emissions from industry and energy consumption outside the ETS [6].

The EU Commission's proposed emissions reduction obligation for the ESS within Finland to 2030 is 50% compared to the 2005 level, meaning that emissions from the ESS should be less than 17.2 Mt CO<sub>2</sub> in 2030 in Finland [6]. Consequently, novel low-carbon innovations in NRMM fleet are needed to reduce emissions. The NRMM fleet consists of excavators, wheel loaders, farm tractors, forest machines, forklifts, chippers, crushers, and other machinery. Currently, the NRMM accounts for around 10% of the GHG emissions of the ESS in Finland [7].

Generally, stationary crushers are electrically powered [8, 9], but mobile crushers are mainly diesel-powered [e.g., 10, 11]. Previously, Laitila et al. [12] investigated a mobile hybrid chipper and its productivity. This study examined the time consumption, productivity, energy consumption, and CO<sub>2</sub> emissions of recycling wood using a novel mobile hybrid crusher and a normal diesel-powered mobile crusher. The study was conducted with EU Life funding (EU LIFE-2022-STRAT [101104613-2, LIFE22-IPC-FI-ACE LIFE]).

## II. MATERIALS AND METHODS

Suomen Mobiilimurskaus Oy has developed the mobile Hybrid Evo crusher (<https://mobiilimurskaus.com/hybridevo/>), based on the Doppstadt DZ 750 Kombi crusher.

The Doppstadt DZ 750 Kombi is a two-stage crusher, featuring a pre-crusher and a post-crusher (<https://www.doppstadt.de/en/>). The power source for the Doppstadt crusher is a Mercedes-Benz OM 502 LA diesel engine with a power output of 448 kW (610 hp). Hence, Suomen Mobiilimurskaus created the Hybrid Evo crusher and electrified the diesel-powered Doppstadt DZ 750 Kombi crusher. Additionally, modifications were made to the front part of the crusher, the post-crusher, and the discharge conveyor. The electrification of the crusher was achieved with a Fogo Sp. z o.o. FDF 600 V diesel generator. Suomen Mobiilimurskaus also electrified the crane feeding the Hybrid Evo crusher. Normally, in a mobile crusher, the crane derives its power from the diesel engine of the relocation truck of the crusher.

The study investigated the time consumption, productivity, energy consumption, and CO<sub>2</sub> emissions of recycling wood using the Hybrid Evo crusher and the diesel-powered Doppstadt DZ 750 Kombi crusher. The data for the study was collected at the L&T Biowatti wood terminal in Savonlinna, Eastern Finland, in November 2023. The research data consisted of information collected by the crushers' own sensors and GoPro video cameras attached to the crane. The sensors collected data on the starting and ending times of crushing, the amount of crushed material produced in loose cubic meters (loose m<sup>3</sup>), and the energy consumption of the crane and crusher. The data recorded by the sensors covered 3 hours and 33 minutes for the Hybrid Evo and 3 hours and 30 minutes for the Doppstadt. Moreover, both crushers' work was analyzed for 2 hours and 38 minutes from video recordings.

Both crushers comminuted the recycling wood of 250 millimeters with four-inch (10.2×10.2 cm) screens. The crushing was performed simultaneously at the same terminal by two different operators. Both crusher operators were experienced professionals in the bioenergy industry with more than 10 years of crushing experience. The Hybrid Evo featured a Kesla 2117T crane, and the Doppstadt featured a Kesla 1200T crane. The time study analyzed the time elements of crushing and their structure. The elements used in the time study were: 1) picking up the load from the storage pile; 2) dropping/feeding the load into the crusher; 3) waiting during crushing operations, for example, when there was no wood material to comminute within reach of the crusher's crane; and 4) cleaning the crusher and its surroundings with the crane grab.

The emissions of the crushers studied were examined computationally in relation to their energy consumption. Diesel fuel emissions were calculated at 2.684 kg CO<sub>2</sub> per liter (L) of fuel [13]. Electricity emissions were based on the emission factor of electricity consumed in Finland: 60 grams CO<sub>2</sub> per kilowatt-hour (kWh) (<https://www.fingrid.fi/>). The energy content of diesel fuel in the calculations was 9.741 kWh/L [14]. The efficiency of the diesel generator was assumed to be 30%, and the efficiency of the electric motor was presumed to be 90%.

### III. RESULTS

With the Hybrid Evo, picking up the load accounted for 68.4% of the total time consumption of the crushing work, while with the Doppstadt crusher, it was 76.7%. The dropping and feeding with the Hybrid Evo took 25.7%, and with the Doppstadt, it was 19.1%. The waiting with the Hybrid Evo accounted for 4.8% of the total time consumption, while with the Doppstadt crusher, it was 4.2%. The time spent cleaning the crusher and its surroundings was 1.1% of the total time consumption with the Hybrid Evo, while no time was spent cleaning with the Doppstadt.

In the study, during the crushing of 250-millimeter recycling wood, the effective hour productivity (without any delays) of the Hybrid Evo crusher was 129.4 loose m<sup>3</sup>/E<sub>0</sub>-hour. The Doppstadt crusher produced 113.9 loose m<sup>3</sup> of crushed material per E<sub>0</sub>-hour. Thus, the productivity of the crushing work with the Hybrid Evo was 14% higher than that of the Doppstadt.

In the study, the Doppstadt crusher consumed 0.66 L of diesel per crushed loose m<sup>3</sup>, while the Hybrid Evo consumed 0.44 L/loose m<sup>3</sup>. Therefore, the diesel consumption was 33% lower with the Hybrid Evo than that of the Doppstadt crusher. When looking at the hourly-based diesel consumption, the Doppstadt consumed 75.7 L/hour, and the Hybrid Evo consumed 57.2 L/hour. It should be noted that 13% of the diesel consumption of the Doppstadt was for the crane, while the diesel consumption of the Hybrid Evo unit was entirely for the crusher operation.

The calculated total energy consumption of the Doppstadt crusher during the study was 6.43 kWh/loose m<sup>3</sup>, while the corresponding consumption for the Hybrid Evo was 4.29 kWh/loose m<sup>3</sup>. If the Hybrid Evo crusher could be operated solely with electricity on-site, the total energy consumption would then be 1.43 kWh/loose m<sup>3</sup>.

In the study, the Doppstadt crusher generated emissions of 1.77 kg CO<sub>2</sub> per crushed loose m<sup>3</sup> of recycling wood, while the Hybrid Evo crusher emitted 1.18 kg CO<sub>2</sub>/loose m<sup>3</sup>. Therefore, the CO<sub>2</sub> emissions with the Hybrid Evo were one-third lower than with the Doppstadt crusher. If the crushing work could be carried out with the electricity-operated Hybrid Evo crusher, the calculated emissions would be only a little fraction (0.10 kg CO<sub>2</sub>/loose m<sup>3</sup>) of what they were in the study, meaning they would be 94% lower.

#### IV. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Consequently, if the amount to be crushed annually was 100,000 loose m<sup>3</sup> of recycling wood, the calculated emissions from recycling wood crushing would be 177 tons of CO<sub>2</sub> with the Doppstadt and 118 tons of CO<sub>2</sub> with the Hybrid Evo. Similarly, if the Hybrid Evo could be used solely with electricity as the energy source, the calculated emissions would be only 10 tons of CO<sub>2</sub> per year for the aforementioned amount of recycling wood crushing. The study demonstrated that the Hybrid Evo crusher achieves substantially lower energy consumption and emissions than the diesel-powered Doppstadt crusher.

#### REFERENCES

- [1] International Energy Agency (IEA), “CO<sub>2</sub> Emissions in 2023, Executive Summary”. Paris, 2024, <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023/executive-summary>
- [2] International Energy Agency (IEA), “Total CO<sub>2</sub> emissions, Europe”, 2023, <https://www.iea.org/regions/europe/emissions>
- [3] EUR-Lex, “Stepping up Europe’s 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people”, COM/2020/562 final, 2020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0562>
- [4] European Commission, “Climate Action, 2050 long-term strategy”, 2023, [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en)
- [5] Statistics Finland, “Kasvihuonekaasupäästöt vähenivät vuonna 2022 (Greenhouse gas emissions decreased in 2022)”, Tilastokeskus, Katsaus 14.12.2023, 2023, <https://stat.fi/julkaisu/cl8d190lnb47r0bvvg344apf0>
- [6] Ministry of the Environment, “Medium-Term Climate Change Policy Plan: Towards a carbon-neutral society in 2035”, Publications of the Ministry of the Environment 12/2022, 2022, <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-417-8>
- [7] R. Siljander, M. Cederlöf, K. Skoglund, and V. Herronen, “Annual Climate Report 2023”, Publications of the Ministry of the Environment 37/2023, 2023, <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-970-8>
- [8] K. Kärhä, “Industrial supply chains and production machinery of forest chips in Finland”, in Biomass and Bioenergy, vol. 35, n. 8, 2011, pp. 3404-3413, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.016>
- [9] K. Kärhä, A. Mutikainen, and A. Hautala, “Saalasti Murska 1224 HF käyttöpaikkamurskauksessa (Comminution using Saalasti Crusher 1224 HF at Kaukaa power plant)”, Metsätehon Tulosalvosarja 7/2011, 2011, [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja\\_2011\\_07\\_Saalasti\\_Murska\\_kk\\_am\\_ah.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja_2011_07_Saalasti_Murska_kk_am_ah.pdf)
- [10] K. Kärhä, A. Mutikainen, and A. Hautala, “Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa (Terminal comminution using Vermeer HG6000 grinder)”, Metsätehon Tulosalvosarja 15/2010, 2010, [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja\\_2010\\_15\\_Vermeer\\_HG6000\\_terminaalihaketuksessa\\_kk\\_am\\_ah.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja_2010_15_Vermeer_HG6000_terminaalihaketuksessa_kk_am_ah.pdf)
- [11] K. Kärhä, A. Hautala, and A. Mutikainen, “Crambo 5000 kantojen tienvarsimurskauksessa (Comminution of stump and root wood at roadside landings using Crambo 5000 crusher)”, Metsätehon Tulosalvosarja 4/2011, 2011, [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja\\_2011\\_04\\_Crambo\\_5000\\_kantojen\\_tienvarsimurskauksessa.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja_2011_04_Crambo_5000_kantojen_tienvarsimurskauksessa.pdf)
- [12] J. Laitila, R. Prinz, J. Routa, K. Kokko, P. Kaksonen, J. Suutarinen, and L. Eliasson, “Prototype of Hybrid Technology Chipper-D4.6”, INFRES – Innovative and effective technology and logistics for forest residual biomass supply in the EU (311881), 2015, <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016121130981>
- [13] EPA, “Greenhouse Gas Inventory Guidance. Direct Emissions from Mobile Combustion Source”, United States Environmental Protection Agency, 2023, <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-12/documents/mobileemissions.pdf>
- [14] E. Alakangas, M. Hurskainen, J. Laatikainen-Luntama, and J. Korhonen, “Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia”, VTT Technology 278, 2016, <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2016/T258.pdf>

# Utilization of waste wood particles in the production of wood-rubber composites

Vladimír Mancel, Jozef Krilek, Tomáš Kuvik, Ján Kováč

*Department of Environmental and Forestry Machinery, Faculty of Technology, Technical University in Zvolen, Študentská 26, 960 01 Zvolen, Slovakia*

## I. INTRODUCTION

The work is focused on the utilization of waste wood particles from the woodworking industry and forestry in the production of wood-rubber composites in form of particleboards, composed of wood particles obtained from spruce logs and rubber granulates obtained from waste materials of automobiles in different weight proportions. Within wood-rubber composites, mechanical properties were tested, namely bending strength (BS) and modulus of elasticity (MOE). It is clear from the results that the rubber granulates affect the tested mechanical properties positively and also negatively.

## II. ANALYSIS OF THE LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS

There are many waste materials from the woodworking industry and forestry, namely several hundred cubic meters, of which only approximately 45-50% are recycled. The growing emphasis on recycling has led to the emergence of wood waste as a primary source of secondary raw materials [1]. When it comes to recycling, wood waste is a complicated substance. Nowadays, there are several methods to evaluate wood waste, such as the production of pellets, briquettes, biofuels or as part of composites [2]. Rubber waste production has increased as a result of industry development and changing consumer lifestyles. This garbage doesn't break down very quickly, thus it stays in the environment for a very long time. Because there are more tires and used automobiles on the road, there is a steady growth in the quantity of garbage made of rubber. According to a report by Dwivedi et al. [3], the total yearly production of tires produced worldwide, when all varieties are combined, is 1400 million units, with an approximate annual generation of 17 million tonnes of tires. Tire waste and other rubber waste products from automobiles, such as seals and carpets, are major global issues. This type of waste nevertheless has a far larger content than can be determined by a reasonable analysis. By 2030, it is estimated that 1200 million tonnes of rubber waste from automobiles will be discarded annually [4]. For this reason, it is necessary to find out the way in which the amount of this type of waste has been reduced.

## III. PRESENTING MAIN MATERIAL

Waste wood particles made from spruce logs were used in the research. The dimensions of the wood particles used for the production of wood-rubber composites ranged from 0.25 to 4.0 mm. Granulates made from recycled tires and a mixture of recycled seals and carpets were used as rubber filler. Granulates of the fraction from 1.0 to 4.0 mm were produced primarily from natural rubber (NR), styrenebutadiene rubber (SBR), ethylenepropylenediene monomer rubber (EPDM) and nitrilbutadiene rubber (NBR) material. A urea-formaldehyde adhesive mixture was used as a binder. Wood-rubber composites were hot-pressed at a specific pressure of 5 MPa, at a temperature of 230° and a pressing time of 5 minutes with final dimensions of 36 x 28 x 1,5 cm. Wood-rubber composites were produced with a proportion of granulates of 10%, 15% and 20% by weight. Mechanical properties (BS, MOE) were tested according to EN 310 [5] on six samples with laboratory device TIRA test 2200. The principle is to determine the bending strength and modulus

of elasticity of the tested sample, which is placed on two supports of the test fixture, and which is loaded in the middle (Fig. 1).



Figure 1 – The principle of BS and MOE measurement

Table 1 – Samples characterization

| Sample name | Characterization                                    |
|-------------|---|
| PB          | Pure particleboard                                  |
| PB+T        | Particleboard with granulate from tires             |
| PB+SC       | Particleboard with granulate from seals and carpets |

Based on the results, it can be concluded that the highest average BS value was achieved by PB+SC samples with a 10% granulate content, specifically 5.53 MPa, and the lowest average BS value was achieved by PB+T samples with a 20% granulate content, specifically 3.74 MPa. As a consequence of the findings, the highest average value of MOE was achieved by PB samples, specifically 1389 MPa, and the lowest average MOE value was achieved by PB+T samples with a granulate content of 20%, specifically 1233 MPa (Fig. 2, Fig. 3).

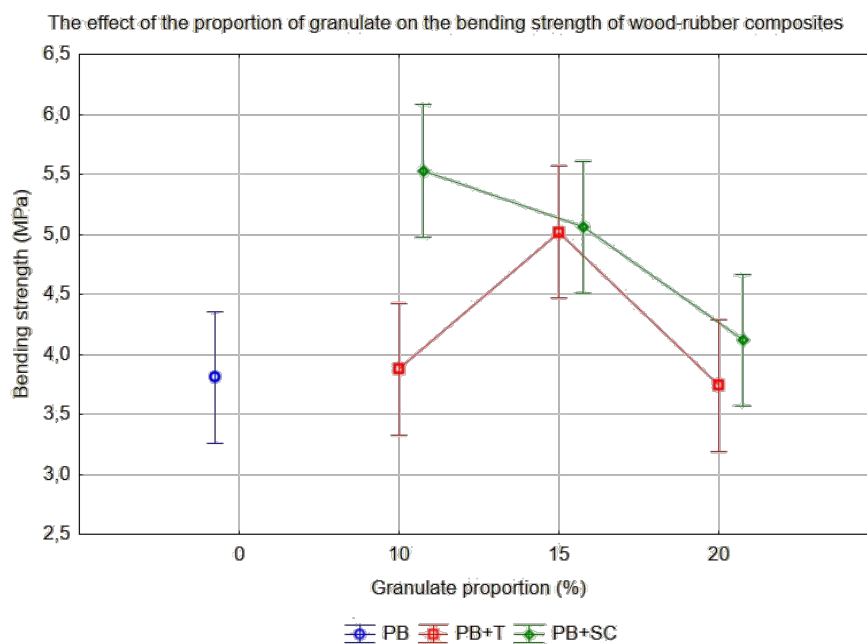


Figure 2 – The results of BS

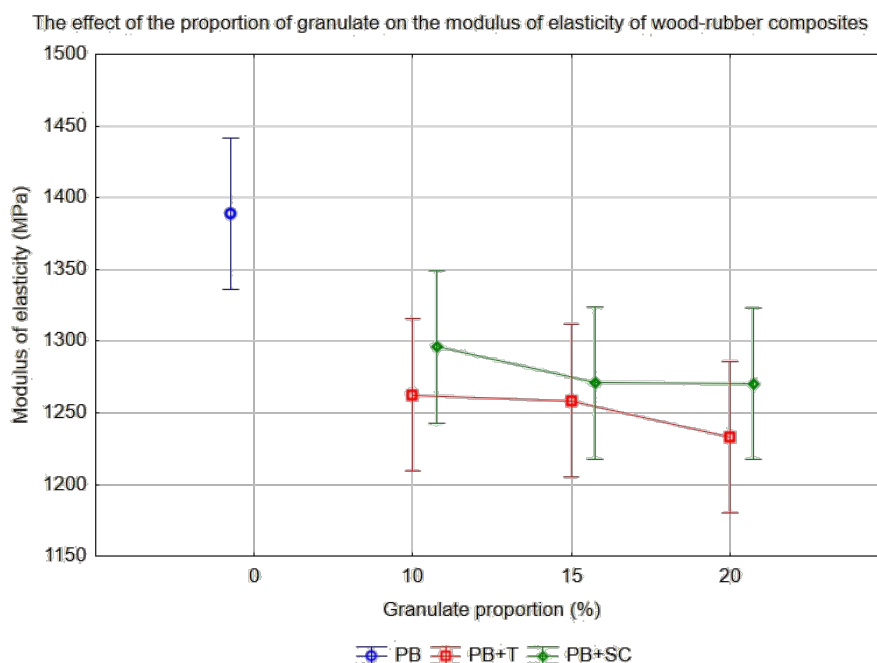


Figure 3 – The results of MOE

#### IV. CONCLUSIONS

Particleboards are commonly used as interior cladding materials in residential or commercial buildings, as part of furniture, floors or roofs. The goal of the work is the use of waste wood particles in combination with recycled rubber material from the automotive industry. The use of waste is important due to the protection of the environment, the utilization of recycled material and the reduction of costs in the production of new composites. Based on the results, it can be assessed that rubber granulates in combination with wood particles affect the BS of wood-rubber composites positively and the MOE of wood-rubber composites negatively.

#### REFERENCES

- [1] A. Mayer, W. Haas, D. Wiedenhofer, F. Krausmann, P. Nuss, and G. Blengini, "Measuring progress towards a Circular Economy - A monitoring framework for economy-wide material loop closing in the EU28," in *Journal of Industrial Ecology*, vol. 1, 2019, pp. 62-76, doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.12809>.
- [2] F.-C. Bergeron, "Assessment of the coherence of the Swiss waste wood management," in *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 91, 2014, pp. 62-70, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.011>.
- [3] C. Dwivedi, S. Manjare, and S.-K. Rajan, "Recycling of waste tire by pyrolysis to recover carbon black: Alternative & environment friendly reinforcing filler for natural rubber compounds," in *Composites Part B - Engineering*, vol. 200, 108346, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108346>.
- [4] K. Formela, A. Hejna, L. Zedler, X. Colom, and J. Canavate, "Microwave treatment in waste rubber recycling - Recent advances and limitations," in *Express Polymer Letters*, vol. 13, n. 6, 2019, pp. 565-588, doi: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2019.48>.
- [5] EN 310, Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, 2005.

# Принципи формування системи машин для заготівлі деревини у природно-виробничих умовах України

Борис Бакай, Іван Радяк

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

Павло Діденко

*Поліський національний університет  
м. Житомир, Україна*

## I. ВСТУП

Інтенсивний розвиток лісового господарства в Україні та сучасні виклики суттєво міняють технологію та устаткування для заготівлі деревини. Дедалі вагомішого значення у лісозаготівельному виробництві набувають екологічні аспекти, питання економії лісосировинних, енергетичних та матеріальних ресурсів. Вирішенню цих проблем багато в чому сприятиме впровадження у виробництво ресурсоефективних та маловідходних технологій, високопродуктивної лісової техніки, що відповідає лісівничим вимогам та сталому розвитку лісового господарства.

При інтенсивному веденні лісового господарства впровадження всього комплексу трудомістких лісгосподарських заходів, розосереджених на значних територіях, можливе лише при комплексній механізації технологічних процесів, які замінюють малопродуктивну ручну працю на машинну, з використанням перспективної системи машин як найбільш вищої форми розвитку лісозаготівельного виробництва. Виконання цих та інших заходів є основою підвищення загальної ефективності системи машин для заготівлі деревини.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Формування системи машин для реалізації виробничих і технологічних процесів лісосічних робіт, як складної системи з ієрархічною структурою, було реалізовано у 1970 роках [1]. Основні принципи сформованої системи машин базувались на потребі підвищення продуктивності праці та рівня механізації праці. Стрімкий розвиток галузевого машинобудування забезпечив потреби лісового господарства України звалювальними, звалювально-пакувальними, трелювальними, звалювально-трелювальними та гілкорізними машинами. Такий підхід частково вирішував нагальні завдання лісового господарства в Україні, оскільки в основному був призначений для заготівлі деревини в експлуатаційних лісах. Впроваджені системи машин (табл. 1) не враховували: природно-виробничі умови підприємств, нерівномірну лісистість і відносно низький середній рівень лісистості території країни; розосередженість лісів у різних природних зонах (Полісся, Лісостеп, Степ, Українські Карпати та гірський Крим), яка містить істотні відмінності щодо лісорослинних умов, методів ведення лісового господарства, використання лісових ресурсів та корисних властивостей лісу; екологічне значення лісів та значну їх частку (до 50%) з режимом обмеженого лісокористування.

У кінці 20-го століття питання формування системи машин для заготівлі деревини з врахуванням природно-виробничих умов розглядалися багатьма дослідниками [1-4]. Через надмірну централізацію прийняття рішень вони обмежились розв'язанням завдань, які були

спрямовані на покращення ефективності окремих операцій та роботи машин. Найбільш значущий доробок у цій царині належить Т. М. Шкірі, М. Г. Адамовському, Н. М. Белій, М. М. Литвинчуку, Z. Saliņš, A. Antti, Z. Laurów, M. Nordberg та ін. В основному науковці сконцентрували свої дослідження на питаннях заготівлі деревини у гірських умовах і використання канатних систем для трелювання деревини, які не враховували нових тенденцій розвитку лівого господарства в Україні та світі [2, 3].

Таблиця 1 – Системи машин для заготівлі деревини

| Технологічний процес |  | Система машин для заготівлі деревини |   |                 |                                       |
|----------------------|--|--------------------------------------|---|-----------------|---------------------------------------|
| індекс               | основна характеристика   | лісосічні                            |   | лісотранспортні |                                       |
|                      |  | індекс                               | основні операції  | індекс          | основні операції                      |
| ТП-1                 | Заготівля та вивезення дерев, їх перероблення на лісових складах     | Л-1                                  | Звалювання дерев, пакетування та трелювання дерев   | Т-1             | Навантаження та вивезення дерев       |
| ТП-2                 | Заготівля та вивезення стовбурів, їх перероблення на лісових складах | Л-2                                  | Звалювання дерев, зрізування гілок, пакетування та трелювання стовбурів                         | Т-2             | Навантаження та вивезення стовбурів   |
| ТП-3                 | Заготівля та вивезення сортиментів на лісовий склад                  | Л-3                                  | Звалювання дерев, зрізування гілок, кряжування стовбурів, пакетування та трелювання сортиментів | Т-3             | Навантаження та вивезення сортиментів |
| ТП-4                 | Заготівля та вивезення тріски на склад                               | Л-4                                  | Звалювання дерев, трелювання дерев та їх перероблення у тріску                                  | Т-4             | Навантаження та вивезення тріски      |

Тому предметом розгляду є системи машин для забезпечення ефективної заготівлі деревини на принципах забезпечення сталого ведення лісового господарства, збереження біорізноманіття в лісах, адаптованого до кліматичних змін лісового господарства, і створення сприятливих умов для активізації розвитку деревообробної та суміжних галузей економіки.

### III. ВІКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Перспективна система машин повинна відповідати стратегії розвитку лісового господарства, формуватись на досягнутому рівні інтенсифікації ведення лісового господарства, визначатися рівнем розвитку науки й техніки і бути тісно пов'язаною з розвитком галузевого машинобудування та іншими суміжними галузями економіки країни. З'ясовано, що визначальними факторами для системи машин є виробничі та технологічні процеси, машини та устаткування, рівень ведення лісового господарства окремого регіону і районування лісових територій.

Регіональний підхід зумовлений суттєвою відмінністю кліматичних та лісорослинних умов різних регіонів країни, які визначають розроблення та застосування агротехнічних прийомів відповідно до цих умов, а також технологічні процеси в цілому за видами виробництва лісогосподарської діяльності.

Сьогодні системи лісозаготівельних машин розглядаються як оптимальний набір машин та устаткування, призначених для виконання всього циклу лісозаготівельного виробництва або його певної частини повністю машинним способом на засадах сталого ведення лісового господарства. Системи лісозаготівельних машин та устаткування повинні

бути сформовані з врахуванням взаємопов'язаних та узгоджуваних технологічних і технічних характеристик та особливостей їх експлуатування. У зв'язку з цим, виникає необхідність у розробленні базових принципів, на основі яких повинна формуватись система лісозаготівельних машин для природньо-виробничих та регіональних умов України.

Таким чином, систему машин для заготівлі деревини формують на основі рівня ведення лісового господарства окремого регіону і районування лісових територій з врахуванням таких чинників: лісорослинні; ґрунтово-кліматичні; виробничі; технологічні; технічні. На основі проведеного дослідження та узагальнення отриманих результатів запропоновано такі системи машин (табл. 2)

Таблиця 2 – Перспективна системи машин для заготівлі деревини

| Індекс системи машин | Особливості реалізації природньо-виробничих чинників   | Рекомендовані природні зони для впровадження систем машин |
|----------------------|--|---|
| СМЛ-1                | Рівнинні умови з задовільною несучою здатністю ґрунтів і сприятливими умовами для заготівлі деревини   | Лісостеп, Степ  |
| СМЛ-2                | Рівнинні умови з незадовільною несучою здатністю ґрунтів і несприятливими умовами для заготівлі деревини; ризики виникнення та запобігання ерозійних процесів  | Мішані ліси (Українське Полісся)                          |
| СМЛ-3                | Гірські умови, збереження корисних властивостей лісів та забезпечення запобігання проявам згубних наслідків природних явищ, небезпека виникнення ерозійних процесів, складні рельєфно-гідрологічні умови | Українські Карпати, Кримські гори                         |

#### IV. ВИСНОВКИ

Шляхом обґрунтування принципів формування системи машин для заготівлі деревини у природньо-виробничих умовах України розроблено нові науково-методичні засади, які враховують параметри спеціальних лісозаготівельних машинно-транспортних комплексів та технологічного устаткування на основі моделювання виробничих і технологічних процесів. Отримані результати дослідження мають значну цінність як для наукового так і для практичного застосування.

Використання перспективної системи машин сприяє підвищенню ефективності виконання технологічних процесів заготівлі деревини завдяки системному узгодженню характеристик машин і устаткування, виробничих планів заготівлі деревини, параметрів лісосік і лісосічного фонду з врахуванням стохастичного впливу лісорослинних і ґрунтово-кліматичних умов. Це дозволяє зменшити витрати на виконання технологічних процесів заготівлі деревини для конкретних природньо-виробничих та регіональних умов України.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] M. Nordberg, "State forest management reforms in three ex-Soviet Republics Reforms, reasons and differences". Doctor's dissertation. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. 2007. pp. 52. ISSN 1652-6880, ISBN 978-91-576-7366-4. [https://www.sifi.se/wp-content/uploads/Acta-Universitatis-Agriculturae-Sueciae-2007\\_671.pdf](https://www.sifi.se/wp-content/uploads/Acta-Universitatis-Agriculturae-Sueciae-2007_671.pdf)
- [2] A. B. Adebayo et al. "Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand." in *Forest Products Journal*, vol. 57, no. 6, June 2007, pp. 59. *Gale Academic OneFile*, <https://link.gale.com/apps/doc/A166092802/AONE?u=anon~1e3e62ab&sid=bookmark-AONE&xid=1acc41ef>
- [3] М. Г. Адамовський, Б. Я. Бакай. "Аналіз і перспективи використання трелювальних тракторів у лісовому комплексі України". *Наук. вісник УкрДЛТУ: збірник наук.-техн. праць. Лісова інженерія: техніка, технологія, довкілля*. Львів, 2004. Вип. 14.3. С. 175-182. DOI: 10.5281/zenodo.8052882
- [4] A. Asikainen, P. Anttila, H. Verkerk, O. Diaz, D. Röser. "Development of forest machinery and labour in the EU in 2010-2030." in *Proceedings of the 44th international FORMEC conference*, October 9–13, 2011. Graz, Austria. 8 p. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20123262206>

# Щодо обґрунтування основних параметрів маніпулятора лісозаготівельної машини (харвестера)

Ігор Каратник, Юрій Цимбалюк, Роман Каратник

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

## I. Вступ

Застосування багатоопераційних машин на прорідженнях і прохідних рубках догляду за лісом дозволяє підвищити продуктивність праці і покращити умови роботи [1]. У зв'язку з великою різноманітністю таксаційних показників природних і штучних молодняків актуальним є розроблення оптимальних параметрів технологічного устаткування наприклад харвестерів і технологічних схем їх роботи. Доцільним для вирішення цього завдання є створення імітаційної математичної моделі роботи харвестера у деревостані молодняка.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Технологічний цикл заготівлі сортиментів харвестером складається з наступних прийомів і рухів основного і додаткового технологічного устаткування [2]: наведення маніпулятором звалювально-гілкозрізно-кряжувального робочого органа на дерево і його захоплення важелями основного затискача з рябухами гілкозріза; зрізування дерева з пня, зіштовхування дерева з пня і підтягування дерева волоком у зону його первинного оброблення; зрізування гілок і віток з стовбура та кряжування його на сортименти визначеної (заданої) довжини.

У процесі роботи лісозаготівельна машина (харвестер) рухається згідно візирів прямолінійно або імпровізованим технологічним коридором (проїздом); на технологічних зупинках машини маніпулятором з робочим органом виконується необхідна вибірка дерев, наприклад на стрічці несучого зрубування, які відведені для заготівлі [3]. Шлях машини може відхилятися від основного з метою найменшого зрубування на технологічних коридорах (проїздах) дерев, які залишаються для подальшого вирощування.

У випадку несучих рубок ділянок деревостану доступність дерев для захоплення і зрізування обмежена екземплярами, що залишають для подальшого зростання. Доступність зрізаних дерев - показник, що характеризує якість роботи машини, здатність проріджувати насадження до заданої густоти (повноти). Проектована (задана) густота (повнота) насадження накладає обмеження на обґрунтування параметрів технологічного устаткування і технологію виконання певного виду рубок. У дослідженнях роботи харвестерів цей показник, поряд, наприклад, з пошкоджуваністю крони залишених для росту дерев і стовбурової їх частини, застосовується для оцінки ефективності використання машин [3].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Складання методики і алгоритму оцінки доступності дерев (для харвестерного маніпулятора з робочим органом) є суттєвою частиною розроблення загальної імітаційної моделі роботи харвестера на ділянці певного виду рубок.

Рішення даного завдання може бути виконано шляхом створення на екрані комп'ютера карти виділу з наданням користувачеві можливості, на основі візуального представлення зімітованого деревостану, змінювати призначення дерев для зрубування у залежності від їх розташування на ділянці або за іншими критеріями (ознаками) деревостану та технології

виконання рубок (наприклад визначеними методами і способами). Але такий підхід не дозволяє отримувати достатню кількість спостережень під час проведення обчислювального експерименту.

Пропонована методика дає можливість здійснювати оцінку доступності дерев, що відведені для зрубання, за рахунок порівняння їх координат з координатами переміщення лісозаготівельної машини на пасіці (стрічці) або на ділянці деревостану. Ділянка насадження, на якій моделюється зрубання відведених дерев, задається низкою параметрів, що генеруються на комп'ютері, з урахуванням законів розподілу випадкових величин (в загальному першочергово - згідно пауссонівського розподілу [4]).

Положення дерев початково задається у декартовій системі координат параметрами  $x_i$  і  $y_i$ , (рис. 1). Переміщення лісозаготівельної машини у насадженні виражається зміною її координат  $(x_m, y_m)$ . Відстань між робочими стоянками машини призначаються залежно від максимального вильоту маніпулятора, а також за ознаками ґрунто-гідрологічних умов і параметрів насадження. При цьому заготівельною машиною повинна створюватися на ділянці безперервна зона оброблення деревостану. Положення дерев відносно лісозаготівельної машини задається у полярній системі координат з центром на вертикальній осі поворотної колони маніпулятора машини (рис. 2).

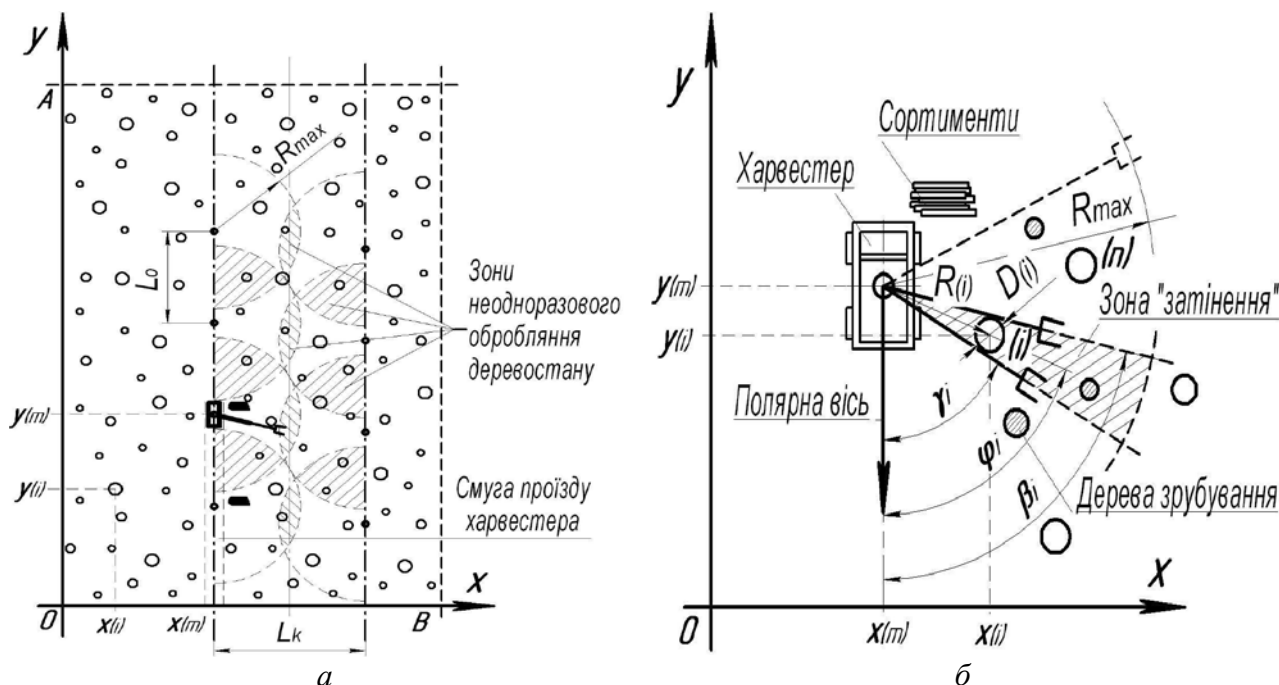


Рисунок 1 - Схема моделювання роботи харвестера під час несучільних рубок:  
 а – схема зон оброблення ділянки молодняка маніпуляторним харвестером;  
 б - розрахункова схема захоплення дерева маніпулятором харвестера.

Застосування полярної системи координат, крім розв'язку задачі оцінки доступності маніпулятором з робочим органом для захоплення і зрізання відведених дерев, дозволяє під час моделювання отримати дані для розрахунку продуктивності машини, так як модуль радіус вектора  $R(i)$  дорівнює вильоту маніпулятора з робочим органом під час захоплення відведеного для зрубання дерева, а полярний кут - кутом між осями проїзду і маніпулятора лісозаготівельної машини:

$$|R_i| = \sqrt{(y_m - y_i)^2 + (x_i - x_m)^2}; \quad \varphi_i = \cos^{-1} \frac{(y_m - y_i)}{|R_i|}, \quad (1)$$

де  $m$  - номер стоянки машини;  $i$  - номер дерева;  $x_m > y_m$  - координати лісозаготівельної

машини;  $x_i, y_i$ , - координати дерева;  $R_i$ - виліт маніпулятора лісозаготівельної машини (харвестера).

Кожне дерево, яке залишається на ділянці (не підлягає зрубванню), утворює зону так званого "затінення" (рис. 2), що обмежує переміщення маніпулятора харвестера до межі його максимального вильоту. Тоді дерева, що опиняються в зоні "затінення" незрубваного дерева, не можуть бути захоплені з даної (фіксованої) стоянки машини. Межі цієї зони визначаються полярними кутами  $\beta_i$  і  $\gamma_i$ , величина яких залежить від діаметра стовбура дерева  $D_i$ , що створює зону "затінення", і відстані його від осі повороту маніпулятора лісозаготівельної машини:

$$\beta_i = \varphi_i + \sin^{-1} \frac{D_i}{2|R_i|}; \quad \gamma_i = \varphi_i - \sin^{-1} \frac{D_i}{2|R_i|}. \quad (2)$$

Умови доступності маніпулятором лісозаготівельної машини до  $n$ -го дерева, відведеного для зрубвання, наступні:

1 - дерево має перебувати в зоні досяжності маніпулятора машини:

$$|R_s| \leq R_{\max}, \quad (3)$$

де  $R_{\max}$  - максимальний виліт маніпулятора лісозаготівельної машини.

2 - наведена нерівність не виконується жодного разу для всіх дерев, які залишаються для подальшого зростання, модулі радіус-векторів яких менше ніж того, що створює зону "затінення":

$$\gamma_i \leq \varphi_n \leq \beta_i. \quad (4)$$

Зрізані з ділянки (пів пасіки, стрічки) дерева враховуються, шляхом виключення їхніх координат з масиву даних про параметри насадження. Для того, щоб врахувати можливість захоплення дерев з різних позицій, робота машини моделюється на ділянці, розташованій між двома технологічними коридорами (імпробізованими проїздами (рис. 1)). При цьому немає необхідності визначати розміри зон ділянки деревостану неодноразового оброблення, які будуть змінюватися у залежності від параметрів технологічного устаткування лісозаготівельної машини та технології її роботи.

#### IV. ВИСНОВОК

Запропонована методика оцінки доступності дерев для вибіркового захоплення і зрізування дозволяє, під час математичного моделювання роботи харвестера на несучільних рубках деревостану, врахувати непрямолінійність руху машини і той фактор, що окремі дерева можуть бути оброблені з двох і більше позицій лісозаготівельної машини, у т ч. розташованих на сусідніх технологічних коридорах чи проїздах, а також визначити оптимальну довжину маніпулятора для ефективної роботи харвестера за критерієм доступності до предмету праці.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Vimek AB. Our machines [Електронний ресурс] // Vimek AB: global website. – URL: <http://vimek.se/en/prod>.
- [2] Шкіря Т.М. Машини та обладнання лісосічних і лісокладських робіт. Підручник / Т. М. Шкіря. – Львів: Тріада Плюс, 2005. – 436 с.
- [3] Производительность харвестера Vimek 404 T5 на рубках ухода в Латвии / Зимелис А., Лаздиньш А., Калея С., Спалва Г., Розитис Г. – Саласпилс: Латвийский ГЛХИИ “Силава” – URL: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/20649/1/36-39.Zimelis.pdf>.
- [4] Медведєв М. Г., Пащенко І. О. Теорія ймовірностей та математична статистика: Підручник / М. Г. Медведєв, І. О. Пащенко – К.: Кондор, 2008. – 536 с.

# Раціональне вирішення технологічних задач гірської лісозаготівлі

Ігор Каратник, Юрій Цимбалюк, Роман Кондур

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

## I. ВСТУП

Склад технологічного устаткування для лісосічних робіт повинен комплектуватися з врахуванням специфічних особливостей і виробничих умов лісоексплуатаційних районів, і тільки при цьому можна розраховувати на доцільне застосування спеціального технологічного устаткування, такого як канатно-підвісні трелювальні установки (КПУ) та трелювальні трактори і їх ефективність під час експлуатації. В такому напрямку на даний час необхідно розглядати питання для умов гірської лісозаготівлі.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Згідно сучасних досліджень [1] собівартість гірської лісозаготівлі значно вища ніж в умовах рівнинної місцевості. Це пояснюється складністю організації лісозаготівельних робіт на всіх технологічних циклах через складні умови пересіченої гірської місцевості, які суттєво збільшують середню відстань трелювання деревини до навантажувальних майданчиків, чи верхніх складів, куди доходять лісові дороги для транспортування деревини лісовозними автопотягами. Лісосіки на даний час віддалені від лісовозних шляхів на 1,5...3,0 км і при цьому навантажувальні майданчики чи верхні склади розміщені поза такими лісосіками.

Під час лісозаготівлі у рівнинних умовах переважно влаштовується один навантажувальний майданчик у межах розроблюваної лісосіки. При цьому існують найкращі умови для тимчасового складування та відвантаження деревини на лісовозний транспорт і зменшується середня відстань трелювання деревини.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Під час розробляння гірських лісосік, наприклад з допомогою КПУ, різко скорочується середня відстань трелювання деревини, але збільшується число проміжних майданчиків складування зтрелюваної деревини, виникає потреба підвезення лісоматеріалів до верхніх складів, зростають витрати на влаштування проміжних майданчиків складування деревини, що у загальному призводить до збільшення витрат на повний цикл трелювання деревини від місця заготівлі до верхнього складу.

Розміри лісосік, їх концентрація, параметри трелювального устаткування як КПУ так і тракторного взаємозв'язані і суттєво впливають на собівартість лісосічних робіт. Очевидно у кожному конкретному випадку слід встановлювати оптимальне число майданчиків проміжного складування деревини для її підвезення на верхній склад і такі параметри лісосік разом з технологічними параметрами трелювальної техніки, для яких собівартість лісосічних робіт, наприклад, у гірській місцевості буде мінімальною. Для реалізації такої задачі доцільно також пропонувати прогресивні КПУ комбінованого трелювання-транспортування деревини з метою зменшення проміжного складування деревини та уникнення технологічної фази "підвезення лісоматеріалів до верхніх складів".

Схема розміщення технологічних коридорів гірської лісосіки для КПУ, близька до паралельної, показана на рис.1, для якої прийняті позначення:  $L$  – глибина лісосіки;  $n$  – кількість майданчиків проміжного складування деревини;  $\gamma$  – питомий запас деревини у деревостані ( $\text{м}^3$  на 1-му кв. м).

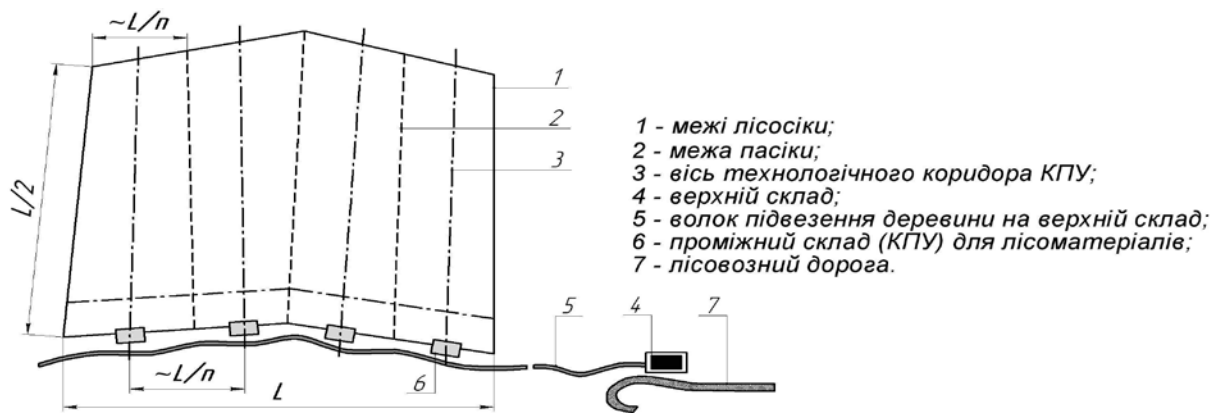


Рисунок 1 – Схема розміщення пасік, технологічних коридорів і майданчика складування лісоматеріалів на гірській лісосіці з КПУ-трелюванням деревини.

Продуктивність КПУ або трелювального трактора на трелюванні або підвезенні деревини визначається формулою [2]:

$$\Pi = \frac{T \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot Q_n}{\frac{l_{cp}}{v_p} + \frac{l_{cp}}{v_x} + t_n + t_p} = \frac{T \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot Q_n}{t_0 \cdot l_{cp} + t_c}, \quad (1)$$

де:

$$t_0 = \frac{v_p + v_x}{v_p \cdot v_x}; \quad t_c = t_n + t_p. \quad (2)$$

$T$  – змінний фонд робочого часу;  $k_1, k_2$  – коефіцієнти, відповідно, використання робочого часу і вантажопідйомності трелювального механізму;  $Q_n$  – рейсове навантаження лісоматеріалів на трелювальний засіб;  $v_p, v_x$  – швидкість руху трелювальника у навантаженому і порожняковому напрямках трелювання деревини;  $l_{cp}$  – середня відстань трелювання лісоматеріалів;  $t_n, t_p$  – час, відповідно, завантаження і розвантаження трелювальника.

Згідно схеми (рис. 1):

$$l_{cp} = \frac{L \cdot (n + 1)}{2n}. \quad (3)$$

Витрати на транспортування 1-го м<sup>3</sup> деревини на верхній склад у загальному виді виражаються залежністю [3]:

$$\Pi_m = C / \Pi \quad (4)$$

тоді:

$$\Pi_m = \frac{C \cdot t_0 \cdot L}{2 \cdot T \cdot k_3 \cdot g} \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) + \frac{C \cdot t_{cp}}{g \cdot T}, \quad (5)$$

де:  $C$  – собівартість машино-зміни трелювального засобу;  $g$  – рейсове навантаження трактора на підвезенні деревини з проміжного складу КПУ до верхнього складу;  $k_3$  – коефіцієнт співвідношення рейсових навантажень трелювального агрегата і трактора на підвезенні деревини;

Вартісні витрати на влаштування проміжних складувальних майданчиків [3]:

$$\Pi_{н.м.} = \frac{n \cdot B}{L^2 \cdot \gamma}. \quad (6)$$

де:  $B$  – питомі середні витрати на влаштуванні одного майданчика проміжного складування деревини;  $\gamma$  – питомий запас деревини у експлуатаційному деревостані, м<sup>3</sup> на 1-му кв. м;  $n$  – кількість майданчиків проміжного складування деревини для однієї лісосіки.

Загальні змінні витрати на трелювання 1-го м<sup>3</sup> деревини визначаються:

$$C_{\Sigma m} = \frac{C}{g \cdot T} \cdot \left[ \frac{t_0 \cdot L}{2 \cdot k_3} \cdot \left( 1 + \frac{1}{n} \right) + t_{cp} \right] + \frac{n \cdot B}{L^2 \cdot \gamma} \quad (7)$$

Приведені витрати можуть бути виражені залежністю [3]:

$$C_{np} = \frac{E \cdot W}{\Pi \cdot t_2} + C_{\Sigma m}, \quad (8)$$

де  $E$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності;  $t_2$  – кількість змін роботи трелювальника за годину;  $W$  – сума складових вартості трелювального агрегата.

Після використання для залежності (8) значень  $\Pi$  і  $C_{\Sigma m}$  вона отримує вигляд:

$$C_{np} = \frac{E \cdot W \cdot [t_0 \cdot L \cdot (n + 1) + 2n \cdot t_c]}{T \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot Q_n \cdot 2n \cdot t_2} + \frac{C \cdot L}{2 \cdot g \cdot T \cdot n \cdot k_3} \cdot [(t_0 + 1) \cdot (n + 1)] + \frac{n \cdot B}{L^2 \cdot \gamma}, \quad (9)$$

у якій змінними величинами є розмір лісосіки  $L$  і число навантажувальних майданчиків  $n$ .

Для дослідження функції (9) на мінімум необхідно визначити частинні похідні  $\frac{\partial C}{\partial L}$  і

$\frac{\partial C}{\partial n}$  та прирівняти їх до нуля. Розв'язки таких рівнянь для параметрів  $L$  і  $n$  виражаються:

$$L = \sqrt[3]{\frac{8T \cdot k_3 \cdot g \cdot t_2 \cdot B \cdot t_0 \cdot n^2}{\gamma \cdot [4g \cdot E \cdot W + C \cdot t_0 \cdot t_2 \cdot (1 + n)]}} \quad (10)$$

$$n = \sqrt{\frac{L^3 \cdot \gamma \cdot [4Q_n \cdot (E \cdot W + C \cdot t_0 \cdot V_n \cdot t_2)]}{4g \cdot T \cdot t_2 \cdot k_3 \cdot B}} \quad (11)$$

#### IV. ВИСНОВКИ

Рівняння (9) собівартості лісосічних робіт на фазі "трелювання + підвезення деревини", разом із залежностями (10) і (11) у першому наближенні дозволяють:

– установити оптимальне число майданчиків проміжного складування деревини на випадки тракторного чи КПУ-трелювання для однієї лісосіки;

– вибрати раціональні розміри лісосік для різних лісоексплуатаційних умов гірських лісорозробок з метою мінімальних витрат на лісосічних роботах.

– розрахункові результати згідно залежностей (9), (10) і (11) можуть бути використані для одержання техніко-економічних показників комбінованих канатно-підвісних трелювальних систем (типу КПТТУ Львівського ПКТИ "Лісдеревпром"), які є доцільні для лісозаготівлі у складних рельєфних умовах і ділянках віддалених від лісових доріг вивезення деревини, оскільки для них влаштовується менше проміжних складів для лісоматеріалів, що зменшить витрати гірської лісозаготівлі.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] С. Ю. Кокоць, В. С. Кудра, В. Л. Коржов Дослідження природно-виробничих аспектів гірської лісозаготівлі (на прикладі ДП "Славський лісове господарство") - Науковий вісник НЛТУ України, 2017, т. 27, № 5 – С. 25-29.
- [2] Шкіря Т.М. Машини та обладнання лісосічних і лісокладських робіт. Підручник / Т. М. Шкіря. – Львів: Тріада Плюс, 2005. – 436 с.
- [3] Коваль Я. В. Економічна (грошова) оцінка природних ресурсів лісового фонду України: теорія, методологія, методика / Я. В. Коваль, І. Я. Антоненко – К.: РВПС України НАН України, 2004. - 163 с.

# Розроблення балансирного механізму до причіпного трелювального засобу

Юрій Цимбалюк, Володимир Кий, Ігор Каратник

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

## I. ВСТУП

Різноманітність рельєфних умов в яких виконуються лісогосподарські заходи та відповідні технології, вимагають застосування специфічного спеціалізованого устаткування. Зокрема для трелювання стовбурної деревини в лісовому насадженні, широкого застосування набули малогабаритні трелювальні системи, що включають тягача та причіпну трелювальну ланку, якою є трелювальний причіп. Серед основних переваг застосування причіпних засобів є можливість розвантажити тягача, який зазвичай є малопотужним та не обладнаний спеціальною навісною системою і відповідним гідроприводом для навісного обладнання. Разом з тим на ефективність та безпеку трелювання стовбурної деревини впливає рельєф, який може бути різноманітним і характеризуватися різними значеннями ухилів місцевості. Найбільш сприятливими умовами, звичайно є місцевість з рівнинним рельєфом, що дозволяє застосовувати трелювальні засоби спрощеної конструкції. Однак під час трелювання деревини схилом по непідготовлених шляхах виникає небезпека перекидання завантаженого трелювального засобу, що накладає певні обмеження на його застосування, зокрема величину ухилу. Застосування спеціальних механізмів на причіпних трелювальних засобах, дозволяє суттєво збільшити величину граничного ухилу місцевості для їх ефективного застосування.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У літературному джерелі [1] подаються різні типи малогабаритних трелювальних систем на основі причіпних трелювальних засобів. Розглянуто конструкторські рішення зазначених засобів, що дозволяють максимально механізувати процес та підвищити їх екологічність. Особливої уваги заслуговують причіпні засоби, що пропонуються до міні тягачів і які можна успішно застосовувати для трелювання лісоматеріалів в лісовому насадженні.

Проблема перекидання причепа під час транспортування деревини [2], особливо у випадку застосування малогабаритних причепів є досить актуальною, а варіанти її розв'язку пропонуються на основі практичних напрацювань та теоретичних досліджень. Ця наукова праця [2] стосується зокрема експериментального дослідження згаданої проблеми де за основу було прийнято спосіб з'єднання причепа з тягачем та конструкцію самої рами причепа. Розглядалися одно та двовісний причеп. Автор відмічає, що двовісні причепа є більш стійкі до перекодування в порівнянні із одновісними. Як зазначає автор, отримані результати не можна повністю інтерпретувати в лісовій практиці де використовуються переважно одновісні причепа.

Подібної проблеми стосується наукова праця [3], де автором пропонується математична модель перекодування трактора. Дана модель ґрунтується на рівняннях рівноваги сил. Створена модель стосується лише самої фази перекидання машини до її удару.

Робота [4] стосується безпосередньо механізації операції трелювання деревини із використанням сучасної техніки, такої як форвардер. При цьому розглядається варіант його

комплектації, що дозволить збалансувати допустиме навантаження на вісь з умов екології та швидкість руху. Пропонується автором концепція так званого форвардера-причепа, який має очевидні як економічні так і екологічні вигоди.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розроблення балансирного механізму до причіпних трелювальних засобів, виконувалося з метою розширення діапазону їх застосування, шляхом забезпечення можливості безпечного трелювання стовбурної деревини на схилах із більшим ухилом. Зазначений балансирний механізм покликаний забезпечувати стійкість завантаженого причіпного трелювального засобу на схилі впливаючи на розміщення його центру ваги, шляхом зрівноважування завантаженого лісоматеріалу.

Аналіз умов застосування трелювальних засобів показав, що їх стійкість на схилі погіршується внаслідок збільшення висоти, зменшення ширини колії та зміщення центру ваги. Таким чином, розроблений балансирний механізм покликаний впливати, зокрема на зміщення центру ваги завантаженого трелювального причепа у випадку його переміщення впоперек схилу чи наїзді на перешкоду одним із коліс (у випадку одновісного причепа). Запропонована конструкція балансирного механізму, може застосовуватися як для одно- так і для двовісних трелювальних причепів.

Ефективне застосування балансирного механізму передбачає внесення певних конструкторських змін в саму конструкцію трелювального засобу. Головним чином це стосується опорних елементів на яких знаходиться завантажений лісоматеріал та засобів для його закріплення. Загалом механізм забезпечує збалансований стан завантаженого трелювального засобу під час руху впоперек схилу, регулюючи положення лісоматеріалу, який розміщується на балансирній опорі, що встановлюється шарнірно по середині колісної балки трелювального засобу та ланцюгової передачі, яка включає тяговий ланцюг, ведучу та допоміжні зірочки.

### IV. ВИСНОВКИ

Удосконалення конструкцій причіпних трелювальних засобів є необхідною передумовою розширення їх можливостей в плані безпечного трелювання деревини в складних природних умовах, якими є площі із горбистим рельєфом, пересіченою місцевістю, а також гірські умови.

Однією із передумов успішного застосування балансирних механізмів та трелювальних засобів є їх автоматичне спрацювання, без втручання оператора, що спрощує роботу останнього.

Під час конструювання, слід передбачати роботу механізму в пасивному режимі, що забезпечить використання трелювального засобу як рівнинній місцевості так і в горбистій чи гірській. Переведення механізму в пасивний режим роботи також варто передбачати в автоматичному режимі або простим перемиканням, що не потребує складного налаштування.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Small to medium scale self-loading timber trailers: a guide to safe use. Forest Research. *Technical Development* TD JR177. The Research Agency of the Forestry Commission. Apr-2019 – 74
- [2] Marco Manzone, Angela Calvo. Trailer Overturning during Wood Transportation: an Experimental Investigation of Effects of Trailer Joint Point and Frame Structure. *Croatian journal of forest engineering* 39(1), 2018, pp. 97–107
- [3] Chisholm C. J. A mathematical model of tractor overturning and impact behaviour. *Journal of Agricultural Engineering Research* 24(4), 1979a, pp. 375–394
- [4] Lindroos O., Wasterlung I. Theoretical potentials of forwarder trailers with and without axle load restrictions. *Croatian journal of forest engineering* 35(2), 2014, pp. 211–219

# Корчування крупномірних пнів з попереднім їх розколюванням в умовах лісосіки

Володимир Гобела, Володимир Кий, Мирослав Мицко,  
Артем Ділишин

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

**Олег Гобела**

*Українська академія друкарства  
м. Львів, Україна*

## I. ВСТУП

Україна відноситься до країн які мають значні запаси деревини. Тим не менше, бережне використання лісових ресурсів завжди було і є важливим державним питанням.

Одним із шляхів підвищення економічної ефективності лісопромислового комплексу є повне використання деревної сировини, яке передбачає переробку всієї біомаси дерева.

Перспективним напрямком, який дозволяє частково вирішити проблему поповнення сировинного ресурсу є переробляння пнів та коренів на технологічну тріску з подальшим її використанням для переробляння. Використання певно-кореневої деревини на території України, на сьогоднішній день, практично не здійснюється, хоч об'єм її складає 15 – 25 % від загального об'єму заготовленої деревини.

Причинами, які стримують використання цієї сировини, є відсутність ефективних енерго та еколого ощадних технологій і устаткування для корчування пнів.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Над проблемою встановлення об'єму біомаси певно-кореневої частини дерева та її використання працювали М. І. Калінін, М. М. Гузь, Ю. М. Дебреньюк, І. І. М'якуш, С. В. Гайда та інші.

Над створенням нових конструктивних схем корчувального устаткування працюють В. М. Гобела, Б. Я. Бакай, В. В. Кий, І. М. Рудько. Ними розроблені конструктивні схеми корчувачів для корчування крупномірних пнів з попереднім їх розколювання. На запропоновані конструктивні схеми отримані патенти України на корисні моделі №148522, №149119, №150556.

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На сьогоднішній день в світлі еколого та енергозберігаючих технологій і обладнання актуальним є питання зменшення енергетичних затрат та екологічного впливу під час корчування пнів. З цією метою на кафедрі лісопромислового виробництва та лісових доріг Національного лісотехнічного університету України зроблено аналітичний огляд існуючих способів устаткування для корчування пнів. В результаті аналізування можна зробити

висновок, що існуюче устаткування є метало та енергоємним і в значній мірі трудозатратним та не відповідає екологічним вимогам.

Для покращення процесу корчування крупномірних пнів та покращення екологічної ситуації на лісосіці авторами розроблене устаткування для корчування пнів з попереднім їхнім розколюванням.

Під час корчування пнів з попереднім їхнім розколюванням пень спеціальним пристосуванням розколюють на дві або більше частин після чого розколоті частини видаляють із землі маніпулятором із спеціальним захопом.

Конструктивна схема запропонованого корчувального устаткування приведена на рисунку 1.

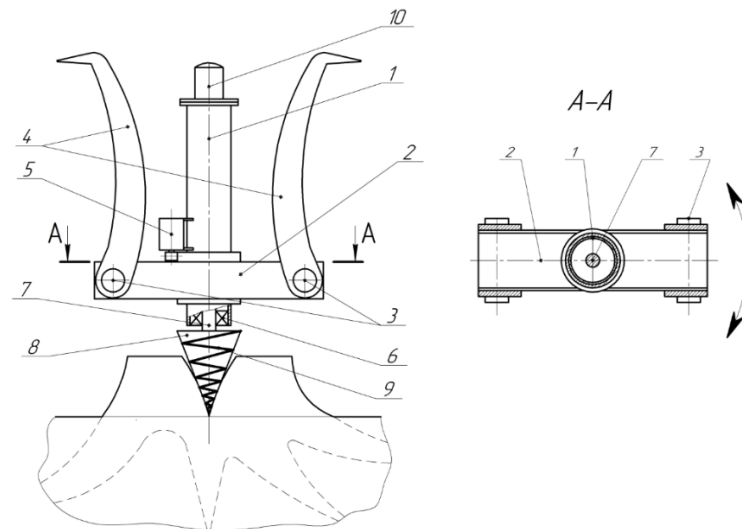
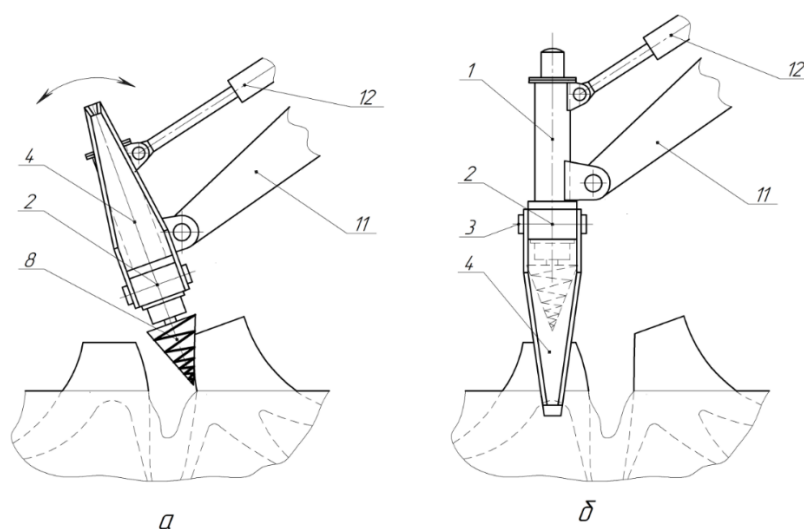


Рисунок 1 - Конструктивна схема запропонованого корчувального устаткування.

Корчувальне устаткування складається із стояка 1, горизонтальної рами 2, шарнірів 3, затискних лап 4, механізму повороту 5, підшипників 6, валу 7, конуса 8 із гвинтовою лінією 9 на поверхні, гідродвигуна 10, маніпулятора 11, гідроциліндра 12.

Фрагменти роботи запропонованого устаткування приведено на рисунку 2.



а – процес розщеплення пня; б – захоплення і корчування розколотих частин пня.

Рисунок 2 – Фрагменти роботи устаткування.

Запропоноване устаткування працює наступним чином. Маніпулятором 11, вертикально розміщений корчувальний пристрій, з піднятими вверх затискними лапами 4, виставляється вище над пнем, так щоб конус 8, який гідродвигуном 10 обертається навколо вертикальної осі, був навпроти центра пня після чого, рухом маніпулятора 11 вниз, корчувальний пристрій подається на пень. Обертаючись конус 8, завдяки гвинтовій лінії 9, вкручується в пень і розколює його.

Якщо пень розколотий недостатньо, то гідроциліндром 12 корчувальний пристрій повертається у вертикальній площині і конусом 8 розщеплює його (рисунок 2 а). Після цього механізмом повороту 5 повертають горизонтальну раму 2 відносно стояка 1, виставляючи тим самим положення затискних лап 4 відносно коренів, захоплюють відколені частини пня затискними лапами 4 і маніпулятором 11 видаляють із землі (рисунок 2 б).

#### IV. ВИСНОВКИ

1 В результаті аналізу існуючих способів видалення пнів та машин і устаткування які їх забезпечують можна зробити висновок, що вони є метало та енергоємними та в значній мірі трудозатратними і такими що наносять негативний вплив на екологічну ситуацію на лісосіці. В результаті їхнього застосування в багатьох випадках є недоцільне.

2 Запропоновано схему обладнання для корчування пнів з попереднім їх розколюванням.

3 Застосування запропонованого обладнання, в значній мірі, зменшить енергозатрати, дозволить видаляти частини пнів без залишків на них ґрунту чим значно зменшить пошкодження та перемішування шарів ґрунту на місцях корчування пнів.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Шкіря Т.М. Технологія і машини лісосічних робіт. Підручник /Т.М. Шкіря - Львів: Тріада Плюс, 2003 - 352с.
- [2] Кий В.В., Матушевський В.Б. Аналіз досліджень з питань розколювання деревини. "Наук. вісник НЛТУ України". Збірн. наук.-техн. праць, вип. 16.3. Львів: НЛТУ України, 2006.- С. 100-104.
- [3] Рибалко В. М., Гобела В. М. Аналіз конструкцій існуючих машин для видалення пнів // Матеріали XVIII Міжнародної конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів конференції "Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування", секція "Конструювання машин та обладнання", 22- 23 березня 2018 р. Київ : НУБІП, 2018. – С. 45.
- [4] Патент на корисну модель № 150556 UA, МПК (2006.01) A01G 23/00. Корчувальний пристрій / Гобела В. М., Гобела О. В., Рудько І. М., Магура Б. О.; заявник і власник патенту – Державний вищий навчальний заклад "Національний лісотехнічний університет України". – № u202105418. – Заявл. 24.09.2021. Опубл. 02.03.2022. Бюл. № 9. - 5 с.
- [5] Патент на корисну модель № 149119 UA, МПК (2006.01) A01G 23/06. Корчувальний пристрій / Гобела В. М., Гобела В. В., Кий В. В., Гобела О. В., Гудз О. М.; заявник і власник патенту – Державний вищий навчальний заклад "Національний лісотехнічний університет України". – № u202102596. – Заявл. 30.04.2021. Опубл. 21.10.2021. Бюл. № 42. - 5 с.

# Експериментальні дослідження залежності потрібного горизонтального зусилля для розщеплення пнів під час корчування їх з попереднім розколюванням

Володимир Гобела, Ігор Рудько, Іван Ярчак

*Національний лісотехнічний університет України  
м. Львів, Україна*

Олег Гобела

*Українська академія друкарства  
м. Львів, Україна*

## I. ВСТУП

Одним із основних завдань сьогодення у сфері лісокористування є економне і раціональне використання біомаси дерева, яке передбачає зменшення втрат деревної сировини під час лісозаготівлі.

Вагомим і додатковим джерелом деревної сировини є певно-коренева деревина [3,4], яка має значний інтерес з точки зору комплексного використання деревних ресурсів.

Маючи високу смолистість, як свіжі, так і стиглі пні, та в цілому певно-коренева деревина могла б успішно використовуватись в різних виробництвах, таких, як смолоскипідарному, каніфольно-екстрактному, піролізному, плитному, але на сьогоднішній день, в народному господарстві вона практично не використовується.

Під час заготівлі свіжої певно-кореневої деревини разом із заготівлею деревини можна одержати значні об'єми додаткової деревної маси.

Розчищення лісових площ від пнів потрібне також для створення просік, лісових доріг, мінералізованих смуг та протипожежних розривів в лісових масивах та інше.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питанню вивчення корневих систем різних порід дерев значну увагу приділяли науковці та працівники лісової галузі. Тут було б доречно згадати вчених НЛТУ таких як, М. І. Калінін, М. М. Гузь, Гузь, М. У. Скальський, С. В. Гайда та інші.

Професорами М. І. Калініним, М. М. Гузьом встановлені співвідношення об'ємів стовбурної та пневної і кореневої маси дерева. Дані досліджень приведені в таблиці 1.

На кафедрі лісопромислового виробництва та лісових доріг НЛТУ розроблені конструктивні схеми корчувального устаткування для корчування крупномірних пнів з попереднім їх розколюванням в умовах лісосіки [5], [6].

Застосування корчувального устаткування із попереднім розколюванням пнів дозволить: значно зменшити зусилля видалення пнів із землі; викорчувувати крупномірні пні машинами порівняно малої потужності; видаляти корені із землі чистими, що суттєво зменшить перемішування поверхневих шарів ґрунту.

Таблиця 1 - Об'єми пневної та кореневої деревини в стиглих деревостанах у відсотковому співвідношенню від об'єму надземної частини дерева

| Порода | Стовбур | Пні<br>(без коренів) | Пні<br>(з коренями) |
|--------|---------|----------------------|---------------------|
| Сосна  | 65 – 67 | 9 – 12               | 18 – 25             |
| Ялина  | 60 – 75 | 10 – 12              | 25 – 30             |
| Дуб    | 62 – 75 | 12 – 20              | 22 – 35             |
| Береза | 78 – 90 | 5 – 12               | 11 – 16             |
| Бук    | 55 – 70 | 10 – 14              | 20 – 25             |
| Осика  | 70 - 82 | 8 - 12               | 20 - 22             |

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В результаті проведення експериментальних досліджень передбачається обґрунтувати доцільність розколювання пнів способом розщеплення та визначити поправочний коефіцієнт, який би дав можливість використовувати відомі залежності з визначення максимального зусилля розколювання кряжа і аналітично розрахувати необхідне зусилля для розколювання пня.

Для проведення експериментальних досліджень нами було виготовлено експериментальне пристосування для визначення потрібного горизонтального зусилля для розщеплення пня. Схема установки приведена на рисунку 1.

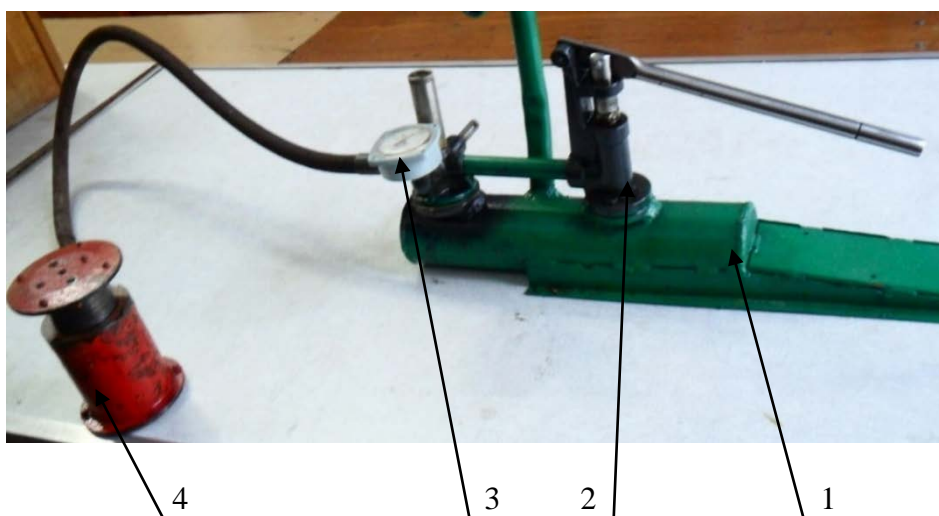


Рисунок 1 – Пристосування для визначення потрібного горизонтального зусилля для розщеплення пня

Установка складається з гідравлічного бака 1, ручного насоса плунжерного типу 2, манометра 3, гідроциліндра з опорами 4.

Експериментальні дослідження по розщеплюванню пнів проводились на суцільній лісосіці дубових насаджень у восьмому кварталі Лелехівського лісництва НВЛК НЛТУ.

Для досліджень вибиралися пні відповідних діаметрів (по три взірці) і відповідної висоти.

В кожному пні, бензомоторною пилкою, вирізали нішу шириною 0,12 м і глибиною 0,1 м для встановлення гідроциліндра дослідного пристосування.

Фрагменти робіт по підготовці пнів до експериментальних досліджень приведені на рисунку 2.



Рисунок 2 – Фрагменти підготовки пня до експериментальних досліджень

З метою перевірки отриманих теоретичних залежностей з визначення максимального зусилля розщеплення пнів було проведено серію експериментальних досліджень. Дослідженню піддавалися свіжозрубані дубові пні, по три взірці, однакового діаметру з кількістю від 5-и до 8-и річних кілець на одному сантиметрі. Досліди проводились експериментальним пристосуванням виготовленим на кафедрі авторами.

Результати експериментальних досліджень приведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Результати досліджень впливу діаметра пня на максимальне зусилля розщеплення

| №<br>п/п         | d,<br>см | P <sub>г</sub> ,<br>атм | P <sub>max</sub> ,<br>кН |
|------------------|----------|-------------------------|--------------------------|
| 1                | 31.5     | 175                     | 53.6                     |
| 2                | 32.0     | 180                     | 57.4                     |
| 3                | 32.5     | 186                     | 56.4                     |
| Середнє значення | 32.0     | 180                     | 55.82                    |
| 1                | 40.0     | 210                     | 69,15                    |
| 2                | 40.5     | 220                     | 72,94                    |
| 3                | 39.5     | 230                     | 75,29                    |
| Середнє значення | 40.0     | 220                     | 72.46                    |
| 1                | 47.5     | 249                     | 79,69                    |
| 2                | 49.0     | 255                     | 84,41                    |
| 3                | 48.0     | 250                     | 82,32                    |
| Середнє значення | 48.16    | 24,9                    | 82.14                    |
| 1                | 55.0     | 260                     | 85,61                    |
| 2                | 57.0     | 270                     | 88,91                    |
| 3                | 56.0     | 280                     | 92,78                    |
| Середнє значення | 56.0     | 29,5                    | 89,1                     |

#### IV. ВИСНОВКИ

1 Дані приведені в таблиці 1. свідчать про доцільність (в силу значних об'ємів) використання пневно-кореневої деревини.

2 Проведені експериментальні дослідження у виробничих умовах підтвердили можливість розколювання пнів способом розщеплення.

3 Збільшення діаметра пня веде до зростання необхідного розривного зусилля. При цьому спостерігається прямо пропорційна лінійна залежність.

4 Під час розколювання дубових пнів, способом розщеплення, величина необхідного максимального зусилля у 1,5 - 2 рази більша ніж під час розколювання кряжів аналогічних діаметрів.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Шкіря Т. М. Технологія і машини лісосічних робіт. Підручник /Т.М. Шкіря - Львів: Тріада Плюс, 2003 – 352 с.
- [2] Кий В.В., Матушевський В.Б. Аналіз досліджень з питань розколювання деревини. "Наук. вісник НЛТУ України". Збірн. наук.-техн. праць, вип. 16.3. Львів: НЛТУ України, 2006.- С. 100-104.
- [3] Hakkila P. Additional raw material for the Forest industry intensified recovery of wood// Economic Review. – Helsinki. – 1975. – 2. - P. 11-17
- [4] Hakkila P. Stumpwood as industrial raw material // Folia Forestalia. – Helsinki. –1976. – 292 p.
- [5] Патент на корисну модель № 150556 UA, МПК (2006.01) A01G 23/00. Корчувальний пристрій / Гобела В. М., Гобела О. В., Рудько І. М., Магура Б. О.; заявник і власник патенту – Державний вищий навчальний заклад “Національний лісотехнічний університет України”. – № u202105418. – Заявл. 24.09.2021. Опубл. 02.03.2022. Бюл. № 9. - 5 с.
- [6] Патент на корисну модель № 149119 UA, МПК (2006.01) A01G 23/06. Корчувальний пристрій / Гобела В. М., Гобела В. В., Кий В. В., Гобела О. В., Гудз О. М.; заявник і власник патенту – Державний вищий навчальний заклад “Національний лісотехнічний університет України”. – № u202102596. – Заявл. 30.04.2021. Опубл. 21.10.2021. Бюл. № 42. - 5 с.

СЕКЦІЯ 11



# МІЖДИСЦИПЛІ- НАРНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

# Дослідження впливу золи-винесення ТЕС на властивості пін для пінобетонних сумішей

Альона Бондар, Михайло Лемешев, Дмитро Лещенко,  
Іван Сафроненко

*Вінницький національний технічний університет  
м. Вінниця, Україна*

## I. Вступ

Пінобетони та поризовані розчинні суміші мають суттєві переваги перед відомими традиційними теплоізоляційними матеріалами (пінополістирол, мінеральна та скляна вата): не потребують попереднього вирівнювання, можуть утворювати суцільний ізоляційний шар без містків холоду, пластичні, мають високу вогнестійкість і стійкість до біологічних пошкоджень, екологічно чисті, довговічні, технологічні [1]. Однак, виробництво пінобетонів потребує значних витрат портландцементу та використання досить дорогих піноутворювачів, які не завжди забезпечують належні технологічні параметри піни, що ускладнює процес виготовлення неавтоклавної пінобетону. Досягти зниження вартості пінобетонів на 10-30 % можна за рахунок використання спеціальних готових сухих будівельних сумішей, використання вторинних відходів промисловості і будівництва [2] – [4]. Проблема отримання пористих розчинів із заданими властивостями може бути вирішена шляхом вивчення впливу мінеральних добавок на властивості технічних пін, отриманих на основі поверхнево-активних речовин (ПАР) і піноутворювачів.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В роботах [5], [6] представлені дослідження складів для отримання пінобетону на основі вторинної сировини і відходів промисловості, з застосуванням високодисперсних цементів і активних наповнювачів. Встановлено, що для отримання неавтоклавної пінобетону середньої марки D400, D500 необхідно використовувати мінерально-однорідні компоненти відповідної дисперсності, що мають високу поверхневу активність і енергію взаємодії у водному середовищі. Механоактивація в'язучого шляхом спільного помелу всіх компонентів пінобетону дозволяє підвищити міцність і знизити вологісну усадку під час тверднення [7].

Експериментальні та теоретичні дослідження з вибору складу пінобетонних сумішей показали, що оптимальну реакційну здатність та фізико-механічні властивості можна отримати для пористих розчинів, отриманих шляхом додавання до цементного пінобетону аніонних піноутворювачів низької кратності. Використання таких піноутворюючих добавок дозволяє отримувати легкі розчини на основі сухих будівельних сумішей з мінімальною усадкою і без використання додаткового піноутворюючого обладнання [8].

## III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Поверхнева енергія і поверхневий натяг рідини на межі розділу фаз вода-повітря і вода-тверді частинки можуть бути знижені за рахунок адсорбції (концентрації) іонів або молекул ПАР і піноутворювачів поблизу поверхні цих фаз і стабілізації дрібних бульбашок в цементному тісті. Для забезпечення стабільних параметрів середньої густини і міцності затверділого розчину необхідно забезпечити міцність неорганічної матриці, що досягається механічною та/або хімічною активацією змішаних компонентів. Проблема створення рівномірної пористої структури з оптимальними показниками якості вирішується шляхом

цілеспрямованого регулювання кратності та стійкості піни у високомінералізованих цементних пастах [9], [10], що може бути вирішено спеціальними технічними методами.

Відомо, що мінеральні домішки мають високу питому поверхню і при активації можуть взаємодіяти з іншими активними центрами фазового поділу в пористій суміші, що твердіє. Активація поверхні зазвичай здійснюється відомими методами, включаючи фізико-механічні (наприклад, зміна питомої поверхні, вплив електричних і магнітних полів) і хімічні (використання різних добавок і їх комплексів).

Вивчався вплив додавання мінеральної дрібнодисперсної фракції золи-винесення ТЕС ( $\mu < 0,14$ ), активованої шляхом подрібнення на бігунах лабораторних, на технічні властивості піноутворювачів з різними характеристиками. Додавання золи-винесення ТЕС до піноутворювача призводить до утворення стабільної мікропористої структури з рівномірним розподілом пор по всьому об'єму поризованого розчину. У таблиці 1 та на рис. 1 наведено вимірний вплив добавки золи-винесення ТЕС на властивості технічних піни.

Таблиця 1 – Значення технічних параметрів піни від кількісного вмісту золи-винесення

| Вміст золи-винесення, % | Без добавки | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 15   | 18   | 20   | 25   |
|-------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Піноутворювач «LORI»    |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Кратність піни          | 15,0        | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 14,5 | 14,5 | 14,0 | 14,0 | 13,0 | 13,0 |
| Стійкість піни, с       | 210         | 210  | 215  | 218  | 225  | 233  | 240  | 247  | 250  | 241  | 230  |
| Піноутворювач «UNISELL» |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Кратність піни          | 12,0        | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 11,0 | 11,0 | 11,0 | 10,0 | 10,0 |
| Стійкість піни, с       | 180         | 180  | 183  | 185  | 192  | 198  | 204  | 210  | 210  | 210  | 198  |

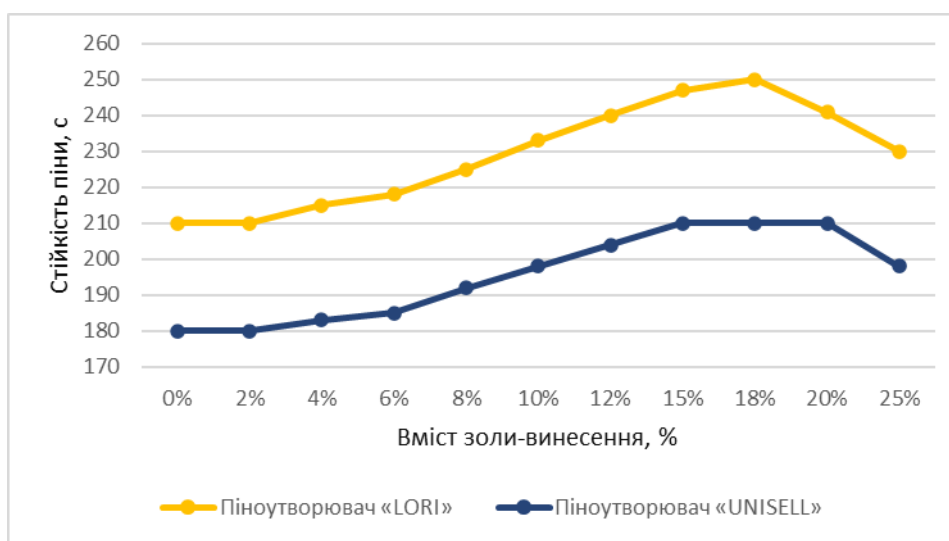


Рис. 1. Залежність технічних параметрів піни від типу мінеральної добавки при її оптимальному вмісті

З рис. 1 видно, що оптимальні значення стійкості піни отримані за умови вмісту золи-винесення 18 % як для піноутворювача «LORI», так і для «UNISELL».

#### IV. ВИСНОВКИ

Результати показують, що додавання мінеральної добавки у вигляді активованої золи-винесення ТЕС може покращити технічні властивості піни (рис. 1). Так, до додавання золи-винесення кратність піни становить 15,0, а стійкість – 210 секунд. З додаванням мінерального порошку стійкість піни збільшується до 250 секунд, а кратність зменшується

до 14. Це пов'язано з утворенням дисперсної системи піни за рахунок насичення піноутворювача частинками порошку золи-винесення. [8]. Це збільшує густину рідини і, відповідно, зменшує висоту стовпа бульбашок. Однак водяна оболонка або плівка піноутворювача, що утворюється навколо бульбашок, стає міцнішою завдяки розкладанню мінеральних речовин на їх поверхні, що підвищує поверхневий натяг і, відповідно, стійкість піни. Водночас навколо позитивно заряджених частинок утворюється хімічно зв'язана водяна оболонка, в якій адсорбується велика кількість іонів, що характеризується збільшенням щільності та орієнтації молекул.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] А. В. Бондар, «Технологічні аспекти виготовлення поризованих складів сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 24-27, 2013.
- [2] В. П. Ковальський, М. С. Лемешев, В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей», *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, Вип. 26, с. 186-193, 2013.
- [3] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 36-40, 2009.
- [4] Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський, В. В. Марчук, Ю. О. Степасюк, та М. М. Скрипник, *Ефективні технології бетонів із застосуванням техногенної сировини: монографія*. Рівне, Україна: НУВГП, 2017.
- [5] Л. Й. Дворкін, та О. М. Бордюженко, «Дослідження складів сухих сумішей та властивостей пінобетонів на їх основі», *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка: Збірник наукових праць*, № 40, с. 69-72, 2011.
- [6] Ю. О. Степасюк, «Ефективні бетони та розчини на малоклінкерному шлакопортландцементі», дис. канд. наук., НУВГП, Рівне, Україна, 2016.
- [7] М. А. Саницький, О. Р. Позняк, В. М. Мельник, та О. Т. Мазурак, «Багатокомпонентні цементні для виготовлення ніздрюватого бетону», *Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт.*, № 3-5, с. 125-128, 2002.
- [8] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Будівництво»*, Випуск 10 (18), с. 44-47, 2014.
- [9] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький, та А. В. Бондар, «Залежність теплотехнічних та фізико-механічних властивостей ніздрюватих бетонів від параметрів виготовлення», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 34-39, 2009.
- [10] Г. Б. Гірштель, та С. В. Глазкова, «Додавання поліфункціональної дії для цементних розчинів та сухих будівельних сумішей», *Будівництво України*, № 4, с. 19-22, 2009.

# Аналіз сучасних досліджень та перспектив використання сонячних панелей на суднах

Олена Россомаха, Людмила Пізінцалі, Олег Россомаха,

Надія Александровська, Олександр Варібрус

*Одеський національний морський університет*

*м. Одеса, Україна*

Тетяна Рабоча, Олексій Малишкін

*Військова академія*

*м. Одеса, Україна*

## ВСТУП

Міжнародна конвенція МАРПОЛ 73/78, яку прийняла Міжнародна морська організація (ІМО), становить ключовий документ, що включає низку заходів для запобігання забрудненню морського середовища від суден.

Екологічні проблеми та зростання цін на паливо створюють необхідність у пошуку нових рішень для судноплавства, проте альтернатив виявляється невеликою кількістю. У статті розглядаються можливість використання альтернативних видів палива та їх вплив на загальні витрати на життєвий цикл судна. Це охоплює електроенергію, зріджений природний газ, водень, аміак з низьким викидом в атмосферу, альтернативні види палива на основі відпрацьованої олії, водоростей, вітру та сонячної енергії.

Проблеми енергозбереження, що по суті означає економію палива, та захист навколишнього середовища від шкідливих викидів з суден завжди були актуальними, але за останнє десятиліття вони стали ще більш актуальними через нестабільність світового нафтового ринку та посилення вимог природоохоронних організацій, включаючи нові положення Міжнародної морської організації (ІМО).

Морська індустрія розвивається швидкими темпами. Щоб відповідати усім вимогам сучасних правил і стандартів, нові судна будуються з використанням передових технологій для зменшення викидів та експлуатаційних витрат. Збільшення попиту на екологічно чисті судна призводить до того, що власники суден інвестують значні кошти у «зелені» морські технології, які використовують альтернативні, відновлювані джерела палива, що повинні частково або повністю замінити вуглеводні.

Протягом останніх десятиліть продовжуються дослідження для пошуку більш економічних та екологічних суднових палив. Тому використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних панелей, на суднах набуває все більшої актуальності, а сонячна енергія має значний потенціал для підвищення енергоефективності та зменшення викидів парникових газів, сприяючи сталому розвитку морського транспорту.

## I. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження у сфері використання сонячних панелей на суднах активно проводяться у багатьох країнах світу. Зокрема, вивчаються технічні аспекти встановлення та ефективності сонячних систем на різних типах суден [1]. Окрім того, значна увага приділяється розробці нових матеріалів та конструкцій сонячних панелей, [2]. Також досліджуються питання оцінки витрат та вигод від використання сонячних панелей на суднах, а також потенційні перешкоди для їх впровадження [3].

Колектив авторів також займались аналізом питань та дослідженням впливу різних видів палива [4], впливом шорсткості корпусу судна [5], гребного гвинта [6], на витрати суднового палива.

## II. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Метою авторів статті є аналіз сучасних досліджень в сфері сонячної енергетики та виявлення перспектив використання сонячних панелей на судах різних типів.

Сучасне використання сонячних панелей на судах відображає тенденцію до енергоефективності, екологічної стійкості та інноваційного розвитку в морському транспорті (таблиця 1).

Таблиця 1 – Типи суден та види потреб для застосування сонячних панелей

| Тип судна                 | Застосування сонячних панелей  |
|---------------------------|--|
| Пасажирські круїзні судна | - Забезпечення енергією для систем освітлення та електроніки на борту.<br>- Використання для підтримки комфортних умов для пасажирів, наприклад, освітлення терас, загальних приміщень та спальних кают.         |
| Вантажні судна            | - Живлення систем управління та навігації.<br>- Забезпечення додатковою енергією для освітлення та електроніки на борту.<br>- Використання для живлення додаткових систем, таких як системи охолодження вантажу. |
| Яхти та рекреаційні судна | - Живлення освітлення та електроніки на борту.<br>- Забезпечення енергією для систем життєзабезпечення та комфорту для пасажирів.<br>- Використання для зарядки електронних пристроїв та акумуляторів.           |
| Риболовецькі судна        | - Живлення електроніки, освітлення та системи навігації.<br>- Використання для живлення систем охолодження та зберігання виловленої риби.  |
| Дослідницькі судна        | - Живлення наукового обладнання та електроніки.<br>- Забезпечення додатковою енергією для довготривалих місій досліджень.  |

*Джерело: власні розробки авторів*

Оцінка ефективності сонячних панелей на судах є складним процесом, який вимагає врахування різних технічних, економічних і екологічних аспектів. Перш за все, важливо оцінити можливість генерації достатньої кількості електроенергії сонячними панелями для внутрішнього споживання судна. Це включає в себе аналіз ефективності панелей в умовах різної інтенсивності сонячного випромінювання та погодних умов на морі.

Ефективність сонячних панелей на судах також оцінюється з точки зору технічної підтримки та обслуговування. Доступність технічної підтримки та можливість здійснення регулярного обслуговування, включаючи перевірку та підтримку електричного підключення, а також очищення панелей від бруду та солоних нальотів, грають важливу роль у забезпеченні надійності та продуктивності сонячних систем.

Зважаючи на технічні та економічні аспекти, нижче подано деякі формули, які можна використовувати для оцінки ефективності сонячних панелей на судах:

1. Енергія, згенерована сонячними панелями:

$$(E) = P \times A \times H \times \eta \quad (1),$$

де  $P$  – потужність панелей (кВт),  $A$  - площа панелей ( $m^2$ ),  $H$  - години сонячного світла на день (год),  $\eta$  - коефіцієнт ефективності (відсотки).

2. Відносна площа панелей

$$(S_{relative}) = A_{panel} / A_{ship} \quad (2),$$

де  $A_{panel}$  - площа панелей ( $m^2$ ),  $A_{ship}$  - загальна площа судна ( $m^2$ ).

3. Коефіцієнт стійкості

$$(K_{stability}) = F_{wind} \times F_{wave} \times F_{salt} \quad (3),$$

де  $F_{wind}$  - коефіцієнт впливу вітру,  $F_{wave}$  - коефіцієнт впливу хвиль,  $F_{salt}$  - коефіцієнт впливу солоного повітря.

#### 4. Технічна підтримка та обслуговування:

- Середній час між аварійною роботою (MTBF) – середній час між виникненням відмов (год).
- Середній час відновлення після відмови (MTTR) – середній час на відновлення роботи після виникнення відмови (год).
- Коефіцієнт готовності (*Availability*) =  $MTBF / (MTBF + MTTR)$  (4).

#### 5. Повернення інвестицій

$$(ROI) = (\text{Економічна вигода} - \text{Вартість вкладення}) / \text{Вартість вкладення} \cdot 100\% \quad (5), [8]$$

де: економічна вигода – сума грошей, які зекономлені або отримані від використання сонячних панелей, Вартість вкладення – загальні витрати на встановлення та обслуговування панелей.

Автори також вважають, що не останню роль відіграє й економічна оцінка ефективності використання сонячних панелей на судах. Вона включає в себе розрахунок вартості встановлення, очікуваної економії на паливі та обслуговуванні, а також повернення інвестицій у термінах зменшення витрат на енергію.

Для подальшого розвитку сонячних технологій у судноплаванні також важливо підтримувати дослідження та інновації у цій галузі, а також створювати стимули для компаній, які готові впроваджувати сонячні рішення на своїх судах. Це може включати в себе фінансові стимули, податкові пільги, гранти для досліджень та розробок, а також нормативні стандарти, що сприяють розвитку сонячної енергетики у судноплаванні. Загалом, розвиток сонячних технологій для судноплавання може відкрити нові можливості для створення більш екологічно чистих, енергоефективних та стійких морських транспортних систем, які відповідають сучасним вимогам сталого розвитку та екологічної безпеки.

Один з прикладів впровадження сонячних технологій у судноплаванні – це проект компанії «Silent-Yachts», яка виробляє електричні сонячні яхти. Їхні яхти оснащені великими площами сонячних панелей, які поставляють енергію для електричних двигунів та електроніки на борту. Ці судна можуть працювати виключно на сонячній енергії, не потребуючи додаткового палива. Цей проект є прикладом високотехнологічного підходу до використання сонячних технологій у судноплаванні, спрямованого на створення більш екологічно чистих та енергоефективних морських транспортних засобів.

Ще одним прикладом використання сонячних технологій на судах є ініціатива «Energy Observer». Це перший в світі енергетичний катамаран, який працює виключно на відновлювальних джерелах енергії, зокрема, на сонячних панелях та водневій та електричній енергії. Судно оснащене 130 м<sup>2</sup> сонячних панелей, які забезпечують енергію для електричних двигунів та систем життєзабезпечення на борту. Energy Observer відправився у світову подорож, демонструючи можливості використання відновлювальних джерел енергії у сучасному судноплаванні та підкреслюючи важливість сталого розвитку в морській індустрії.

Використовує сонячні батареї на судах і американський корабель USS Gerald R. Ford (CVN-78), який є першим з серії нових атомних авіаносців класу Ford. Цей корабель оснащений сонячними панелями, які використовуються для живлення деяких систем на борту, зокрема, для енергопостачання LED-освітлення та електронних пристроїв. Використання сонячних панелей допомагає знизити використання дизельного палива та викиди CO<sub>2</sub>, що є важливим аспектом для військових суден.

А от китайський експериментальний судно «Тяньюнь-1», яке є першим китайським експериментальним безпілотним судном на сонячних панелях. Це судно використовує сонячні панелі для живлення своїх електричних систем, що дозволяє йому працювати безперервно та знижує залежність від традиційного палива.

Отже, перспективи розвитку сонячних технологій для судноплавання є великими і обіцяючими, особливо в контексті зростаючого інтересу до відновлювальних джерел енергії та боротьби зі зміною клімату.

Автори вважають, що Україна володіє потенціалом для розвитку сонячних технологій у морському транспорті, особливо у зв'язку з наростаючим інтересом до використання

відновлювальних джерел енергії та потребою в зменшенні екологічного впливу судноплавства. Впровадження проектів щодо встановлення сонячних панелей на судах може призвести до зменшення витрат на паливо, збереження енергії та скорочення викидів CO<sub>2</sub>.

Українські компанії, розробники та дослідницькі центри активно досліджують можливості використання сонячної енергії в морському транспорті, включаючи різноманітні судноплавні варіанти від приватних яхт до комерційних великих суден.

### III. ВИСНОВКИ

Використання сонячних панелей на судах має значний потенціал для покращення енергоефективності та зменшення викидів парникових газів у морському транспорті.

– Для повного розвитку та використання сонячних панелей на судах необхідно подальше дослідження та розробка технологій, спрямованих на підвищення ефективності та надійності систем.

– Важливо розглядати питання витрат та вигод від використання сонячних панелей на судах, а також розв'язання потенційних перешкод, таких як фінансові труднощі та обмеження в просторі на судні.

– Автори вважають, що можлива успішна інтеграція технологій використання сонячної енергії у сучасну морську індустрію.

– Сонячні технології мають великий потенціал стати важливим елементом майбутнього судноплавства, сприяючи переходу до більш сталого та енергоефективного транспортного сектору. Ці технології можуть відігравати ключову роль у зменшенні залежності від традиційних джерел енергії та зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище, сприяючи таким чином сталому розвитку суспільства.

– Автори вважають, що в майбутньому перспективою є співпраця між різними секторами промисловості, такими як суднобудування, енергетика та наука, для розробки інтегрованих та ефективних сонячних рішень для суден.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Гребенюк І.М., Петренко В.В., Кравченко О.П. Перспективи використання сонячних енергетичних систем у морському транспорті. - Дніпро: Система, 2017. - 184 с.
- [2] Тетяна ГЛБОРМЕ, Лілія НАКАШИДЗЕ Визначення впливу конструктиву сонячних батарей на ефективність їх функціонування. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2023. №3 (318). С. 82-90
- [3] Нові судна можуть перебувати в морі тижнями, «харчуючись» сонцем. URL: <https://www.seafarersjournal.com/technologies/37017/>
- [4] Л. В. Пізінцалі, О. І. Россомаха, О. М. Шумило, Н. І. Александровська, О. А. Россомаха, Т. В. Рабоча, О. В. Малишкін. АНАЛІЗ ВПЛИВУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА НА ВАРТІСТЬ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ СУДНА. Збірника наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова № 1 (490) 2023. С. 11 - 19. (Фахове видання)
- [5] Россомаха О.І., Александровська Н.І., Пізінцалі Л.В., Россомаха О.А., Рабоча Т.В. ВИКОРИСТАННЯ ДІАГРАМИ ІСКАВИ ПРИ АНАЛІЗІ ВПЛИВУ ШОРСТКОСТІ КОРПУСУ СУДНА НА ВИТРАТИ СУДНОВОГО ПАЛИВА. Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2024. № 1(29) 2024. С. 763 - 786. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-1\(29\)-763-785](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-1(29)-763-785)
- [6] Н. І. Александровська, Л. В. Пізінцалі, О. І. Россомаха, О. А. Россомаха АНАЛІЗ ВПЛИВУ ШОРСТКОСТІ ГРЕБНОГО ГВИНТА НА ВИТРАТИ СУДНОВОГО ПАЛИВА. Збірника наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова № 4 (493) 2023. С. 3 – 12. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2023.4\(493\).1](https://doi.org/10.15589/znp2023.4(493).1)
- [7] Сонячні електростанції [Електронний ресурс] / Рентехно – промислові сонячні електростанції – Режим доступу до ресурсу: <https://rentechno.ua/ua/> . Сонячні електростанції [Електронний ресурс] / Рентехно – промислові сонячні електростанції – Режим доступу до ресурсу: <https://rentechno.ua/ua/>
- [8] Н.М. Мхітарян, А.М. Донець. Економічні перспективи розвитку сонячної енергетики у Дубаї на прикладі розрахунку терміну окупності фотоелектричної системи// Матеріали XX ювілейної міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». – Київ, 15-16 травня 2019.– С. 285-288. — Режим доступу : <https://ve.org.ua/downloads/05.2019.pdf>

# Розвиток мультимодальних контейнерних перевезень в Україні

Сергій Петрик, Юлія Шульдінер

*Український державний університет залізничного транспорту  
м. Харків, Україна*

## I. ВСТУП

Міжнародні вантажні перевезення, як в Україні, так і в розвинених країнах світу, все частіше відбуваються за допомогою контейнерів. Ефективність контейнерних перевезень неодноразово відзначалася експертами з провідних країн світу. Серед позитивних аспектів використання контейнерів можна виділити їх пристосованість до швидкого завантаження, вивантаження та перевантаження між різними видами транспорту, що збільшує швидкість доставки вантажів; забезпечення безпеки та збереження вантажів у контейнерах; менші витрати при використанні; простоту організації контейнерних перевезень [1]. Всі перелічені аспекти відіграють ключову роль, у побудові ефективної мультимодальної системи перевезень вантажів із залученням контейнерних перевезень.

## II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналізуючи статистичну інформацію, щодо кількості перевезених контейнерів укрзалізницею, можна зробити висновок, що даний вид транспорту користується популярністю, та має позитивну тенденцію до зростання (Рис. 1)

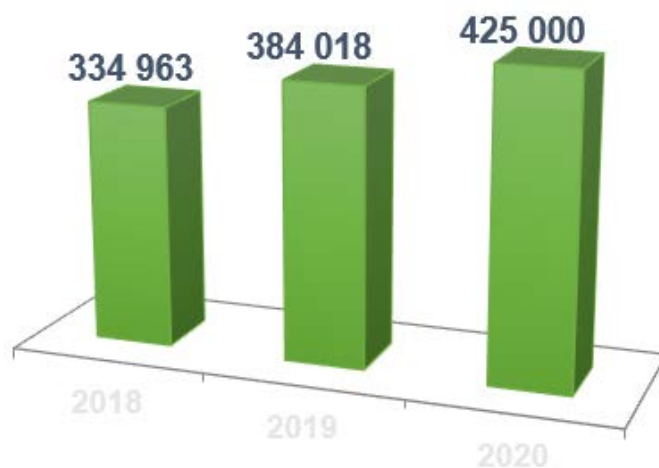


Рисунок 1 – Статистика контейнерних перевезень залізничним транспортом в межах України.

Військовий стан в країні негативно вплинув на перевезення вантажів, але незважаючи на всі складнощі та масовані атаки з боку росії, економіка України максимально зфокусована на відновленні, і залучення транспорту для перевезення вантажів є ключовим аспектом. У 2023 році АТ "Укрзалізниця" перевезла через територію України загалом 201,26 тисяч TEU. Ця цифра практично відповідає обсягу перевезень у 2019 році. Як зазначається, обсяги перевезень вантажів у контейнерах в 2023 р. виявилися на 34% більшими, ніж в 2022 р., коли було транспортовано лише 150 тис. TEU. Перед тим, в 2021 р., УЗ перевезла 279,8 тис. TEU.

### III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Досвід інших країн світу показує, що розвиток контейнерних перевезень сприятиме підвищенню енергоефективності, екологічної безпеки та загальної безпеки транспорту у порівнянні з іншими методами доставки вантажів. Однак наразі, при наявності сучасних та потужних контейнерних терміналів у морських портах, Україна стикається з відсутністю достатнього транспортного забезпечення для ефективного переміщення вантажів всередині країни та до країн Європейського Союзу. Тому виникає необхідність у технічній модернізації транспортної інфраструктури, покращенні систем інформаційної підтримки та підвищенні рівня обслуговування вантажів.

Проблеми, які виникають у процесі контейнерних перевезень на території України та в країні Європи, мають бути вирішені шляхом утворення державної стратегії розвитку транспорту на основі системного підходу.

Міжнародні стратегії розвитку контейнерних перевезень вимагають комплексного підходу, що включає організаційну, інформаційну та правову підтримку, з урахуванням особливостей організаційної структури та ступеня централізації управління. При цьому прийняття та реалізація стратегічних рішень повинні забезпечувати сталий розвиток галузі контейнерних перевезень.

### IV. ВИСНОВКИ

Отже, для підвищення ефективності та якості послуг у контейнерних перевезеннях необхідно впровадити кілька ключових напрямів. Серед них варто відзначити модернізацію системи державного управління транспортом, формування конкурентного ринку транспортних послуг, введення нових маршрутів для контейнерних перевезень, гармонізацію транспортного законодавства із відповідними стандартами ЄС, розвиток міжнародних транспортних коридорів та залучення України до будівництва нових міжконтинентальних проектів, які будуть об'єднувати Європу з Євразією, враховуючи максимально привабливе географічне розташування України.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Advantage and Disadvantages of Containerization [https://www.marineinsight.com/maritime-law/advantage-and-disadvantages-of-containerization/#Economies\\_of\\_Scale](https://www.marineinsight.com/maritime-law/advantage-and-disadvantages-of-containerization/#Economies_of_Scale)
- [2] Богомолова Н.І. Розвиток контейнерних перевезень в Україні // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту Міністерства транспорту України: Серія “Економіка і управління”. – Вип. № 5.- К.: КУЕТТ, 2004.

## РІШЕННЯ

### VI Міжнародної науково-практичної конференції «ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ»

VI Міжнародна науково-практична конференція «ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ» пройшла в м. Івано-Франківську з 14 по 16 травня 2024 року на базі Академії технічних наук України. Співorganizаторами конференції є:

- Інститут модернізації змісту освіти
- Connective Technologies LTD, Великобританія

У роботі цієї конференції приймали участь **221** вчених з **5** країн: **України, Словачької республіки, Об'єднаних Арабських Еміратів, Фінляндії, Польщі.**

На конференції працювало 11 секцій технічного спрямування:

- Природничі науки
- Інформаційні технології
- Механічна інженерія
- Електрична інженерія
- Автоматизація та приладобудування
- Хімічна та біоінженерія
- Виробництво та технології
- Архітектура та будівництво
- Транспорт
- Лісова та промислова інженерія
- Міждисциплінарні наукові дослідження

В процесі роботи конференції відбувся обмін досвідом, науковими і практичними досягненнями, визначені основні тенденції, перспективи розвитку наукових досліджень в технічній галузі.

За результатами роботи конференції опубліковано збірник, який містить **95** тез доповідей. Серед представлених доповідей особливо відзначаються роботи вчених, які представляють **48** організацій:

#### **Україна**

- Національний університет «Львівська політехніка»
- Вінницький національний технічний університет
- Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
- Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Ліцей імені Романа Шухевича
- Академія технічних наук України
- Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
- Національний університет «Запорізька політехніка»
- Центральноукраїнський національний технічний університет
- Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
- Національний лісотехнічний університет України
- Луцький національний технічний університет
- ЗВО Університет Короля Данила
- Херсонський державний аграрно-економічний університет
- Український державний університет залізничного транспорту
- Київський Національний університет будівництва і архітектури
- Український державний університет науки і технологій
- V.I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College
- State Biotechnological University
- Запорізький національний університет

- Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
- Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine
- Національний університет водного господарства та природокористування
- Technological College of the Ukrainian National Forestry University
- Kherson State Maritime Academy
- Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture
- Харківський національний автомобільно-дорожній університет
- Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
- Харківський фаховий коледж транспортних технологій
- Хмельницький національний університет
- Одеський національний морський університет
- Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
- Державний університет інфраструктури та технологій
- Національний авіаційний університет
- Поліський національний університет
- Українська академія друкарства
- Військова академія м. Одеса

#### **Словацька Республіка**

- Словацький технічний університет у Братиславі
- Technical University in Zvolen

#### **Об'єднані Арабські Емірати**

- ADNOC HQ, Abu Dhabi

#### **Фінляндія**

- Jesa Group Oy, Joensuu
- University of Eastern Finland, Joensuu

#### **Польща**

- The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences
- Люблінський політехнічний університет
- Academy of Silesia
- Мариполь Мебле Польска
- University of Agriculture in Krakow
- Łukasiewicz Research Network - Poznań Institute of Technology

Слід відзначити високий рівень прикладних досліджень учасників конференції, роботи яких орієнтовані на вирішення актуальних наукових і практичних завдань у галузі технічних наук.

За результатами роботи конференція рекомендує:

- розвивати співробітництво науковців різних країн у галузі технічних наук;
- збірник тез конференції надіслати у науково-технічні бібліотеки України;
- провести наступну міжнародну науково-практичну конференцію «ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ» в березні-квітні 2025 року в м. Івано-Франківську.

Голова оргкомітету VI Міжнародної науково-практичної конференції «ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ», президент Академії технічних наук України, доктор технічних наук, професор



Микола КУЗЬ

## ЗМІСТ

стор.

### *Природничі науки*

- Vladyslav Dzhumelia, Elvira Dzhumelia, Orest Kochan.** Environmental Situation in Industrial Regions: the Influence of Mining and Chemical Activity and Ways of its Optimization..... 3
- Олег Березюк, Михайло Лемешев.** Зміна концентрації цинку в ґрунтах при наближенні до полігону ТПВ в с. Тішне Закарпатської області..... 6

### *Інформаційні технології*

- Микола Пікуляк, Іван Фединяк.** Розробка додатку для голосового управління комп'ютером на основі RNNLM моделі..... 9
- Микола Пікуляк, Ярослав Кузик.** Дослідження використання веб-форуму для підвищення якості організації освітнього процесу у закладі вищої освіти..... 12
- Валерій Щербина, Ілля Усюк.** Автоматизоване проектування черв'ячного валу екструдера..... 15
- Євген Берладинюк, Тарас Крюков, Валентина Яковин.** Пріоритизація показників якості програмного забезпечення відповідно до його класифікації..... 18
- Микола Кузь, Іван Мостовий, Ігор Полатайко, Руслан Мішагін.** Метод рейтингування цитованості наукових публікацій на основі Академічного індексу..... 21
- Борис Незамай.** Забезпечення якості програмних засобів шляхом використання технології функції розгортання якості..... 23
- Любомир Демчук, Володимир Грига.** Інформаційна система пошуку та купівлі квитків на різні види транспорту..... 26
- Михайло Крихівський, Вікторія Бандура.** Удосконалення математичних моделей інформаційної безпеки..... 29

### *Механічна інженерія*

- Roman Kvit, Tetyana Salo.** Evaluation of the plates reliability with a stochastic distribution of rigid rod inclusions..... 32
- Olexander Glotka, Kyrylo Obnosov, Denys Sotnikov.** Phase composition of nickel-based superalloys..... 35
- Катерина Васильковська.** Застосування роботів в сільськогосподарському виробництві..... 38
- Олексій Бондаренко, Олександр Устиненко, Сергій Воронцов.** Раціональне проектування трьохвальних коробок передач метаевристичним алгоритмом «Пошук мобільністю»..... 41
- Володимир Голубець, Олександр Гасій.** Зносостійкість вакуумних йонно-плазмових покриттів у контакті з деревиною..... 44
- Ірина Казак.** Удосконалення конструкції гвинтового живильника з метою підвищення ефективності..... 47
- Іван Радяк, Борис Бакай.** Використання морфологічного аналізу для проектування устаткування..... 50
- Володимир Онопа, Дмитро Артеменко.** Обґрунтування механічно-пневматичного збирача комах-шкідників пасльонових культур..... 53
- Олена Зінченко.** Аналіз торсіонних валів легких броньованих машин для ідентифікації можливих напрямків оптимізації з підвищення їх міцності та довговічності..... 56
- Тарас Четвержук, Ольга Залета.** Методика проектування різенакатних роликів для забезпечення параметрів точності та міцності різей..... 59

|  |    |
|--|----|
| <b>Олександр Устиненко, Нікіта Левін, Станіслав Черельов, Олексій Бондаренко, Роман Протасов.</b> Шляхи підвищення контактної міцності циліндричних прямозубцевих передач..... | 62 |
|--|----|

### *Електрична інженерія*

|  |    |
|--|----|
| <b>Olga Ostapenko, Piotr Olczak, Yaroslav Poprotskyi.</b> Highly efficient energy supply system with a cogeneration heat pump installations in the scheme of the plant.....                        | 64 |
| <b>Nadiia Hablovska, Tetiana Pavlenko, Maryna Kononenko, Bohdan Hablovskiy.</b> Methods selection and research results of the porous structure of copper as a matrix for conductive composite..... | 66 |
| <b>Теймураз Кацадзе, Олена Янковська, Кирило Новіков, Анастасія Ніколаєва.</b> Прототип пристрою моніторингу стану проводу повітряної лінії електропередавання..                                   | 69 |
| <b>Богдан Сметаняк, Надія Габльовська.</b> Аналіз існуючих контактних систем в електричних апаратах з бездуговою комутацією.....   | 72 |
| <b>Сергій Ващишак, Ірина Ващишак.</b> Енергоефективна система охолодження промислових холодильних установок.....   | 74 |
| <b>Роман Жесан, Олена Голик, Сергій Кравцов, Валентина Зубенко.</b> Основні складові зростання енергоефективності в Україні.....   | 77 |
| <b>Тетяна Павленко, Ігор Ляхович.</b> Сонячна енергетика: шлях до сталого енергетичного майбутнього.....   | 81 |

### *Автоматизація та приладобудування*

|   |     |
|---|-----|
| <b>Олена Назарова, Олександр Русяк.</b> Інтелектуальні системи керування електромеханічними процесами холодної прокатки.....                                    | 84  |
| <b>Ihor Polataiko, Mykola Kuz.</b> Conceptual model for the virtual points of commercial gas accounting automated system.....                                   | 87  |
| <b>Viktor Bilishchuk.</b> Modeling of a DC Motor Device for Measuring Interphase Tension.....   | 91  |
| <b>Andrii Shumylo, Roman Baitsar.</b> Plant irrigation automation system.....   | 93  |
| <b>Karyna Trubchaninova, Vitaliy Voronets, Olexander Voronets.</b> Artificial Intelligence in Wireless Electronic Communication Systems.....                    | 95  |
| <b>Serhii Rahulin.</b> Automated measuring complex development.....   | 97  |
| <b>Ольга Барна, Сергій Барна.</b> Обґрунтування вибору методу контролю крайового кута змочування гідрофобного покриття.....                                     | 99  |
| <b>Олена Назарова, Аліна Казурова, Володимир Осадчий, Радіон Богунов.</b> Моделювання робототехнічних і мехатронних систем на базі Micro:bit.....               | 103 |
| <b>Олена Назарова, Михайло Залужний, Тимофій Полешко.</b> Система моніторингу температури з використанням технології IoT.....                                   | 106 |
| <b>Yurii Huran, Maryna Kononenko, Nadiia Hablovska.</b> The state and tasks of metrological support for hardness measurements according to the Leeb scales..... | 109 |

### *Хімічна та біоінженерія*

|   |     |
|---|-----|
| <b>Валерій Щербина, Денис Швачко, Людмила Гур'єва.</b> Розділення дисперсної фази у нестандартному циклонному теплообміннику обертової печі.....                              | 111 |
| <b>Ростислав Лютий, Іван Петрик, Василь Попович.</b> Фазовий склад зв'язувального матеріалу, синтезованого нагріванням суміші ортофосфорної кислоти з дистен-силіманітом..... | 114 |
| <b>Михайло Лемешев, Олег Березюк.</b> Жаростійкі та вогнетривкі бетони на основі промислових відходів.....  | 118 |
| <b>Володимир Голубець, Михайло Пашечко.</b> Дослідження структури і властивостей зносостійких евтектичних покриттів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr.....                           | 121 |
| <b>Юрій Франчук, Вікторія Коновалюк.</b> Аналіз відповідності складу газових сумішей нормативним вимогам до якості газу.....  | 125 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Катерина Черноіваненко.</b> Аналіз структурних складових швидкорізальної сталі при хіміко-термічній обробці.....  | 129 |
| <b>Андрій Скребцов, Юлія Кононенко, Антон Матюхін, Андрій Кононенко.</b> Дослідження структуроутворення при спеченні суміші порошків титан-гідроксиапатит..... | 132 |

### *Виробництво та технології*

|   |     |
|---|-----|
| <b>Oleksandr Saychuk, Artem Naumenko, Aleksander Ostenda, Andrii Zakharov.</b> Study of the influence of diffusion saturation of austenite during high-speed electric heating of metal..... | 134 |
| <b>Oleksii Hrechanyi, Tetiana Vasilchenko, Andrii Vlasov.</b> Determining the influence of technological parameters on the pelletization of charge materials.....                           | 140 |
| <b>Костянтин Таратута, Сергій Востоцький.</b> Комп'ютерне моделювання процесу волочіння шестигранних профілів.....  | 143 |
| <b>Анатолій Верховлюк, Ростислав Лютий, Дмитро Матковський.</b> Ливарна технологія одержання високоентропійного сплаву Al-Cu-Ni-Cr-Fe та його властивості.....                              | 145 |
| <b>Vladyslav Sukhenko, Yevgeny Sukhenko.</b> Modern Methods and Future Prospects of Animal Fat Conversion into Biofuel.....   | 148 |
| <b>Mariana Udovytska, Volodymyr Mayevskyy, Oleksandr Udovytskyi.</b> Mathematical model for predicting transverse warping of lumber.....  | 151 |

### *Архітектура та будівництво*

|  |     |
|--|-----|
| <b>Дмитро Банніков.</b> Сучасні трактування поняття живучості будівельних конструкцій як складних систем.....                          | 154 |
| <b>Дмитро Банніков, Леонід Клочко.</b> Діаграма роботи під навантаженням сталевих нагелів для дерев'яних конструкцій.....              | 157 |
| <b>Андрій Кундрат, Микола Кундрат.</b> Відшарування системи гнучких підсилень мостової конструкції за умов задачі термопружності.....  | 160 |
| <b>Микола Кундрат.</b> Відшарування гнучкого підсилення елемента мостової конструкції за неперервного навантаження.....                | 164 |
| <b>Дар'я Вакуленко, Віктор Мілейковський.</b> Дослідження теплообміну в системах вентиляції: нові підходи до зменшення тепловтрат..... | 168 |
| <b>Олександр Степанчук.</b> Проектування тротуарів на магістральних вулицях крупних і найкрупніших міст.....                           | 171 |

### *Транспорт*

|   |     |
|---|-----|
| <b>Igor Gritsuk, Yuriy Grytsuk, Mikhaylo Litvinov, Valentine Chernenko.</b> Development of an information model for monitoring and forecasting the parameters of the technical condition of the Diesel Energy Unit..... | 174 |
| <b>Igor Gritsuk, Oleksandr Polishchuk, Valerii Hritsuk.</b> Formation of an information exchange scheme on the example of a ship power plant.....   | 177 |
| <b>Андрій Кашканов.</b> Аспекти оцінювання ефективності систем головного освітлення автомобілів при експертизі аварійних ситуацій.....  | 180 |
| <b>Олег Кімстач.</b> Гребна електрична установка для підводних апаратів.....  | 183 |
| <b>Олександр Артюх.</b> Покращення параметрів безпеки кузовів транспортних засобів на стадії проектування.....  | 185 |
| <b>Сергій Бобрицький, Андрій Сумцов, Олександр Анацький, Ірина Гришина, Євген Бабенко.</b> Аналіз пошкоджень обладнання тягового рухомого складу.....   | 189 |
| <b>Денис Ломотько, Олександр Нестеренко.</b> Удосконалення процесів перевезень вантажів шляхом формування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів.....  | 192 |
| <b>Назарій Смоленюк.</b> Метод та система ідентифікації номерних знаків автомобіля.....   | 195 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Василь Равлюк, Ярослав Дерев'янчук.</b> Поліпшення рівня безпеки руху поїздів шляхом ефективної експлуатації гальмових систем пасажирських вагонів.....                                   | 198 |
| <b>Kostiantyn Kyrychenko, Serhii Zinchenko, Pavlo Nosov, Pavlo Mamenko, Vadym Mateichuk.</b> Contemporary challenges of shipping safety.....   | 201 |
| <b>Тетяна Берневек, Валерія Кириллова, Марина Вільшанюк, Тетяна Варлан.</b> Особливості застосування принципів управління в судноплавних компаніях.....                                      | 203 |
| <b>Ганна Примаченко, Георгій Пащенко.</b> Важливість та сучасні можливості автоматизації роботи контейнерних терміналів в Україні.....   | 208 |
| <b>Ганна Примаченко, Кирило Тарасов.</b> Організація пасажиропотоків за умови еластичного попиту.....  | 211 |
| <b>Тетяна Тарасенко.</b> Деякі особливості енергетичного переходу у дунайському судноплаванні.....   | 213 |
| <b>Світлана Бібік, Олег Стрелко, Михайло Музикін.</b> Удосконалення структури міжнародних транспортних систем.....   | 217 |
| <b>Олександр Кудін, Ольга Дударенко.</b> Дослідження температурних режимів роботи каталітичного нейтралізатора автомобіля із встановленим ГБО 4-го покоління у реальних дорожніх умовах..... | 219 |
| <b>Галина Нестеренко, Михайло Музикін, Розалія Щербина.</b> Методи підвищення ефективності функціонування складу.....  | 221 |
| <b>Руслан Пустовойт, Олександр Степанчук.</b> Компоненти і планувальна структура транспортно-пересадочних вузлів на території аеропортів.....  | 224 |
| <b>Денис Ломотько, Ольга Афанасова, Дмитро Кудряшов, Олександр Нестеренко.</b> Удосконалення процесів перевезень вантажів шляхом формування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів..... | 226 |
| <b>Денис Ломотько.</b> Методологічний аспект створення концепції єдиного логістичного центру залізниць України.....  | 229 |
| <b>Олександр Слюсаров, Андрій Щербина.</b> Взаємодія колеса з еластичною шиною і опорними пристроями стендів та співставлення результатів випробувань.....                                   | 232 |
| <b>Олександр Устиненко, Ілля Клочков, Олексій Бондаренко, Сергій Воронцов, Сергій Андрієнко.</b> Оптимізація проектування за масою механічної двопотокової трансмісії гусеничної машини..... | 235 |
| <b>Андрій Щербина, Олександр Слюсаров, Нікіта Ліньков.</b> Випробування гідроприводу автомобіля.....   | 238 |
| <b>Андрій Щербина, Олександр Слюсаров.</b> Сертифікація автомобілів.....   | 240 |

### *Лісова та промислова інженерія*

|   |     |
|---|-----|
| <b>Володимир Кий, Юрій Цимбалюк, Богдан Магура, Володимир Гобела.</b> Дослідження впливу розміщення сучків на процес розколювання деревини.....                                       | 242 |
| <b>Ігор Рудько, Володимир Гобела, Василь Барияк.</b> Економічний аспект надійності роботи підвісних лісотранспортних систем.....  | 245 |
| <b>Pawel Tylek, Florian Adamczyk, Marek Szycha, Jacek Wojciechowski, Sebastian Sobocki, Grzegorz Szewczyk, Mariusz Kormanek.</b> Mobile automatic device for forest regeneration..... | 248 |
| <b>Jaakko Hekkala, Borys Vakay, Kalle Kärhä.</b> The productivity, energy consumption and emissions of recycling wood using a mobile hybrid crusher.....                              | 251 |
| <b>Vladimír Mancel, Jozef Krilek, Tomáš Kuvik, Ján Kováč.</b> Utilization of waste wood particles in the production of wood-rubber composites.....                                    | 254 |
| <b>Борис Бакай, Іван Радяк, Павло Діденко.</b> Принципи формування системи машин для заготівлі деревини у природно-виробничих умовах України.....                                     | 257 |
| <b>Ігор Каратник, Юрій Цимбалюк, Роман Каратник.</b> Щодо обґрунтування основних параметрів маніпулятора лісозаготівельної машини (харвестера).....                                   | 260 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Ігор Каратник, Юрій Цимбалюк, Роман Кондур.</b> Раціональне вирішення технологічних задач гірської лісозаготівлі.....   | 263 |
| <b>Юрій Цимбалюк, Володимир Кий, Ігор Каратник.</b> Розроблення балансирного механізму до причіпного трелювального засобу.....   | 266 |
| <b>Володимир Гобела, Володимир Кий, Мирослав Мицко, Артем Ділишин, Олег Гобела.</b> Корчування крупномірних пнів з попереднім їх розколюванням в умовах лісосіки.....  | 268 |
| <b>Володимир Гобела, Ігор Рудько, Іван Ярчак, Олег Гобела.</b> Експериментальні дослідження залежності потрібного горизонтального зусилля для розщеплення пнів під час корчування їх з попереднім розколюванням.....         | 271 |
| <i><b>Міждисциплінарні наукові дослідження</b></i>   |     |
| <b>Альона Бондар, Михайло Лемешев, Дмитро Лещенко, Іван Сафроненко.</b> Дослідження впливу золи-винесення ТЕС на властивості пін для пінобетонних сумішей.....   | 275 |
| <b>Олена Россомаха, Людмила Пізінцалі, Олег Россомаха, Надія Александровська, Олександр Варібрус, Тетяна Рабоча, Олексій Малишкін.</b> Аналіз сучасних досліджень та перспектив використання сонячних панелей на суднах..... | 278 |
| <b>Сергій Петрик, Юлія Шульдінер.</b> Розвиток мультимодальних контейнерних перевезень в Україні.....  | 282 |
| Рішення VI Міжнародної науково-практичної конференції «ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ».....  | 284 |

Наукове видання  
Мови видання: українська, англійська

## **ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції  
( 14-16 травня 2024 р.)

*Доповіді друкуються у авторській редакції.*

*Організаційний комітет не завжди поділяє позицію авторів.*

*За точність викладеного матеріалу відповідальність покладається на авторів.*

**ISBN 978-617-7926-61-9**

Віддруковано з готового макету замовника

Підписано до друку 24.05.2024 р.  
Формат 60x84 1/16. Умов. друк. арк. 16,97.  
Папір офсетний. Гарнітура “Times New Roman”.  
Друк цифровий. Зам № 412.  
Наклад 100 примірників.



Видавець Кушнір Г. М.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції: серія ІФ №31 від 26.01.2009 р.  
76026, м. Івано-Франківськ, вул. Дорошенка, 22б,  
тел. (099) 700-47-45, e-mail: kgm.print@i.ua