



Секція № 7

**СУЧАСНІ ІНДУСТРІАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ: МАШИНОБУДУВАННЯ,
ЕНЕРГЕТИКА, ІНФРАСТРУКТУРА
ТА ТРАНСПОРТ**

DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-624-2-7>

UDC 620.22:536.2

S. M. HAPIEIEV,

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of
Construction, Geotechnics and Geomechanics*

G. A. STARUSHENKO,

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of
Construction, Geotechnics and Geomechanics*

H. P. IVANOVA,

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of
the Department of Construction, Geotechnics and Geomechanics
Dnipro University of Technology, Dnipro*

**ANALYSIS OF THERMAL CONDUCTIVITY PROPERTIES OF FIBER-
REINFORCED COMPOSITES**

Modern industrial technologies in the fields of mechanical engineering, energy, infrastructure, and transport impose increased requirements on functional materials, in particular on their thermal stability, reliability, and efficiency under conditions of intense thermal loads. Fiber-reinforced composites with a regular microstructure occupy a significant place among next-generation materials due to the possibility of purposeful control of their properties. One of the key parameters determining the functional efficiency of such materials is thermal conductivity.

The analysis of thermal conductivity characteristics of fiber-reinforced composites is an important stage in the design of next-generation materials for use in energy installations, transport systems, and infrastructure facilities. Particular attention is paid to the consideration of microstructural parameters, fiber geometry, and phase contrast, which significantly affect the effective thermal conductivity and, consequently, the operational characteristics of the material.

Thus, the study of heat transfer patterns in fiber-reinforced composites is a relevant task of modern applied mechanics and materials science and is of great importance for the development of innovative industrial technologies.

The aim of the work is to analyze the dependence of the thermal conductivity properties of fiber-reinforced composites on their structure, which will make it



possible to create reliable structural elements for modern machines, energy installations, and transport systems in accordance with the challenges of modern industry.

The problem of heat conduction for a two-phase microinhomogeneous material consisting of a continuous matrix and periodically arranged cylindrical inclusions is considered. The dimensions of the structure in the direction of the fiber length significantly exceed its in-plane dimensions: $L \gg \ell$. The structure is doubly periodic with a period that is the same in both directions, and the inclusions are arranged in a square array (Fig. 1).

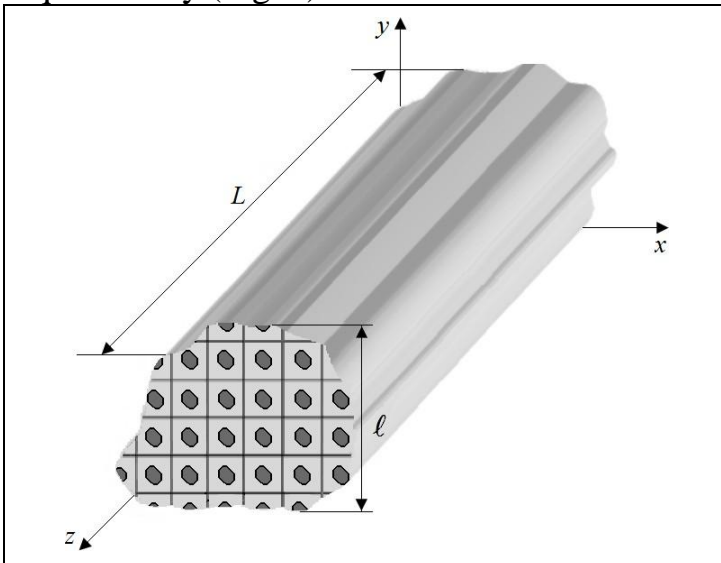


Fig. 1. Fiber-reinforced composite with a regular microstructure

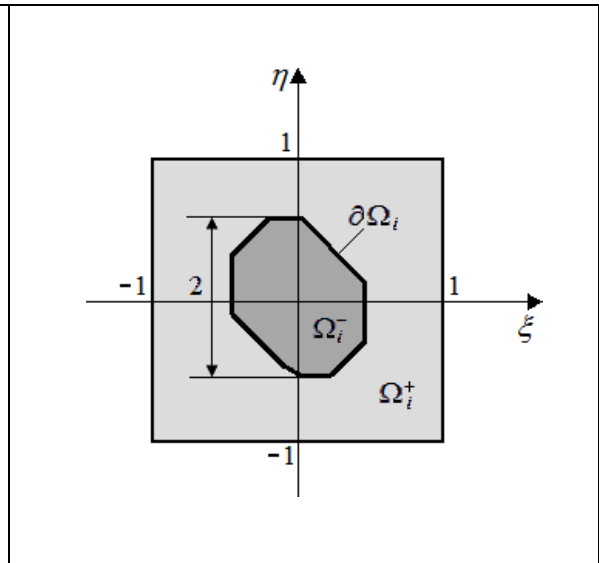


Fig. 2. Characteristic structural cell of the composite

The phases of the composite have different thermal conductivities – λ^+ and λ^- in the matrix and inclusions, respectively, with $\lambda^- / \lambda^+ = \lambda$. The period 2 of the structure is small compared to the characteristic size of the domain Ω in the plane, i.e. $\varepsilon = 2/\ell \ll 1$. Hereinafter, without loss of generality, a natural normalization is adopted: the value of the geometric parameter a is defined as the ratio of the characteristic size of the inclusion to the characteristic size of the elementary cell.

For the considered composite array, we present in the general case the mathematical formulation of the heat conduction problem. Let us denote the domain in the cross-section of the composite as $\Omega = \sum_{i=1}^n \Omega_i^+ \cup \Omega_i^-$, where Ω_i^+ and Ω_i^- are, respectively, the domains of the matrix and the inclusion with a characteristic size $2a$, which can be identified within each characteristic cell of the structure; $\partial\Omega_i$ is the contour of the inclusion (Fig. 2).



The behavior of the composite material is described, for the temperature distribution functions in the matrix and inclusions u^+ , u^- , by the Poisson equations:

$$\lambda^+ \Delta u^+ = F \text{ in } \Omega_i^+; \lambda^- \Delta u^- = F \text{ in } \Omega_i^-, \quad (1)$$

where F is the density of heat sources.

At the interface between the matrix and the inclusions, the following conjugation conditions are satisfied:

$$u^+ = u^-; \lambda^+ \frac{\partial u^+}{\partial \mathbf{n}} = \lambda^- \frac{\partial u^-}{\partial \mathbf{n}} \text{ on } \partial \Omega_i, \quad (2)$$

where \mathbf{n} is the outward normal to the inclusion boundary.

The presence in the structure of a natural small parameter – the period of the composite – makes it appropriate to use the technique of two-scale expansions and homogenization theory to solve the problem. This approach makes it possible, at the first stage, to reduce the solution of the problem in a complex multiply connected domain to a solution in the domain of a characteristic structural cell of the composite material. In the “fast” variables $\xi = x/\varepsilon$, $\eta = y/\varepsilon$, the cell problem (local problem) is written in the form:

$$\frac{\partial^2 u_1^+}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 u_1^+}{\partial \eta^2} = 0 \text{ in } \Omega_i^+; \frac{\partial^2 u_1^-}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 u_1^-}{\partial \eta^2} = 0 \text{ in } \Omega_i^-; \quad (3)$$

$$u_1^+ = u_1^-; \frac{\partial u_1^+}{\partial \bar{\mathbf{n}}} - \lambda \frac{\partial u_1^-}{\partial \bar{\mathbf{n}}} = (\lambda - 1) \frac{\partial u_0}{\partial \mathbf{n}} \text{ on } \partial \Omega_i; \quad (4)$$

$$u_1^+ \Big|_{\xi=1} = u_1^+ \Big|_{\xi=-1}; u_1^+ \Big|_{\eta=1} = u_1^+ \Big|_{\eta=-1}; \frac{\partial u_1^+}{\partial \xi} \Big|_{\xi=1} = \frac{\partial u_1^+}{\partial \xi} \Big|_{\xi=-1}; \frac{\partial u_1^+}{\partial \eta} \Big|_{\eta=1} = \frac{\partial u_1^+}{\partial \eta} \Big|_{\eta=-1}, \quad (5)$$

where u_1^+ , u_1^- are the temperature distribution functions in the matrix and inclusions of the first approximation; u_0 is the temperature distribution function of the zero approximation in the smooth region of the cell; $\bar{\mathbf{n}}$ is the outward normal to the inclusion boundary written in the “fast” variables.

After solving the local problem (3)-(5), the effective thermal conductivity parameter is determined by applying the averaging operator

$$\tilde{\Phi}(x, y) = \frac{1}{|\Omega_i^*|} \left[\iint_{\Omega_i^+} \Phi^+(x, y, \xi, \eta) d\xi d\eta + \lambda \iint_{\Omega_i^-} \Phi^-(x, y, \xi, \eta) d\xi d\eta \right] \quad (6)$$

to the relations

$$\frac{\partial^2 u_0^+}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_0^+}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial^2 u_1^+}{\partial x \partial \xi} + 2 \frac{\partial^2 u_1^+}{\partial y \partial \eta} + \frac{\partial^2 u_2^+}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 u_2^+}{\partial \eta^2} = F; \quad (7)$$

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 u_0^-}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_0^-}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial^2 u_1^-}{\partial x \partial \xi} + 2 \frac{\partial^2 u_1^-}{\partial y \partial \eta} + \frac{\partial^2 u_2^-}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 u_2^-}{\partial \eta^2} \right) = F,$$



$$\lambda \left(\frac{\partial^2 u_0^-}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_0^-}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial^2 u_1^-}{\partial x \partial \xi} + 2 \frac{\partial^2 u_1^-}{\partial y \partial \eta} + \frac{\partial^2 u_2^-}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 u_2^-}{\partial \eta^2} \right) = F, \quad (8)$$

where $|\Omega_i^*| = |\Omega_i^+ \cup \Omega_i^-|$ is the measure of the cell; $|\Omega_i^*| = 4$.

Composite structures with inclusions of various geometries are considered: square, circular, rhombic, and curvilinear rhombic shapes. Using asymptotic methods for solving the cell problem, asymptotic expressions for the effective conductivity of structures $q_{ef}^{(\infty)}$ for the case of ideally conducting inclusions $\lambda \rightarrow \infty$ of large geometric sizes $a \rightarrow 1$ have been obtained, presented in Table 1.

Table 1.

Asymptotic expressions for the effective thermal conductivity of fiber-reinforced composites with a regular structure and inclusions of large size of various geometries

$q_{ef\ sq}^{(\infty)} = \frac{1}{1-a}$	$q_{ef\ r}^{(\infty)} = \frac{\pi}{\sqrt{1-a^2}}$	$q_{ef\ rh}^{(\infty)} = \ln \left(\frac{1}{1-a} \right)$	$q_{ef\ cur\ rh}^{(\infty)} = \frac{\pi}{2}$
$q_{ef\ sq}^{(0)} = 1-a$	$q_{ef\ r}^{(0)} = \frac{\sqrt{1-a^2}}{\pi}$	$q_{ef\ rh}^{(0)} = -\ln^{-1}(1-a)$	$q_{ef\ cur\ rh}^{(0)} = \frac{2}{\pi}$

Table 1 also presents relations for the effective conductivity $q_{ef}^{(0)}$ of composite materials with large non-conducting inclusions $\lambda = 0$ obtained by virtue of Keller's theorem:

$$q(\lambda) = q^{-1}(\lambda^{-1}). \quad (9)$$

Figures 3 and 4 present graphs of the effective parameters for different geometric shapes of ideally conducting and non-conducting inclusions, respectively.

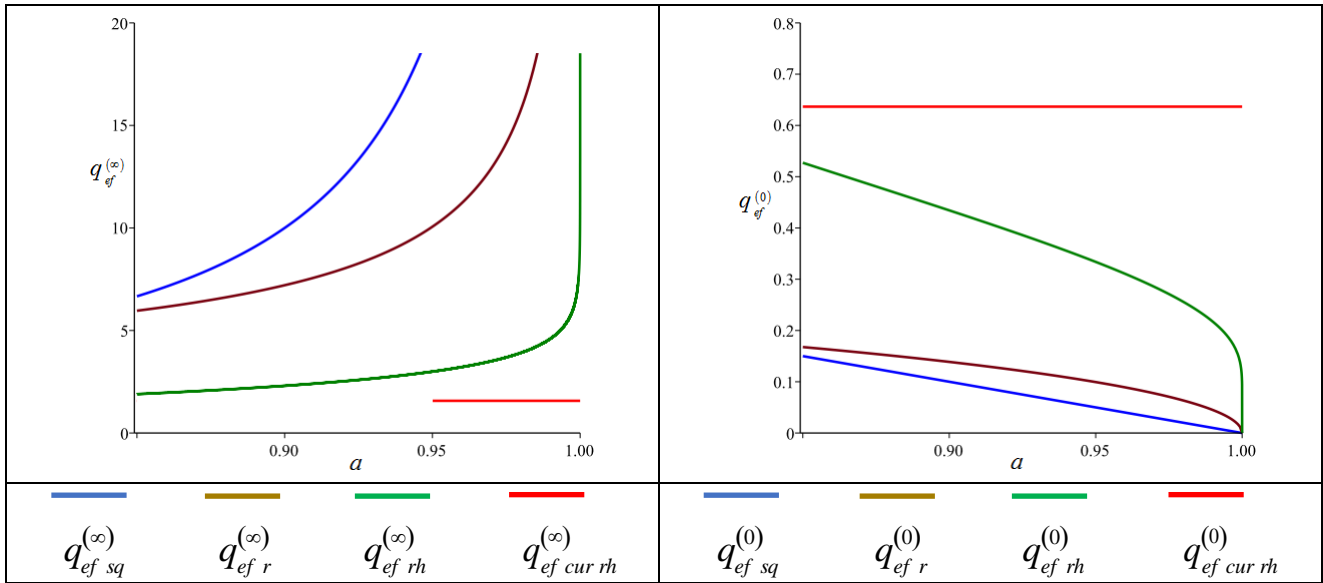


Fig. 3. Graphs of effective parameters for different geometric shapes of ideally conducting inclusions

Fig. 4. Graphs of effective parameters for different geometric shapes of non-conducting inclusions

The constructed asymptotic solutions work correctly in the region of limiting values of the physical and geometric characteristics of the composite, that is, precisely in those regions where the use of numerical methods leads to computational difficulties. They provide structured information, embodied in analytical relations, about the properties of the studied composite materials and make it possible to identify their most general patterns and essential components, which, under small perturbations, lead to significant variations in the macroscopic properties of the structure.

The obtained results can be used for the creation of advanced thermal insulation, thermal protection, or, conversely, highly conductive materials in the fields of mechanical engineering, energy, civil engineering, aerospace engineering, electronics, and the defense industry.

UDC 656.7.012.2:327:502.131.1:662.75

Eglė SIKORSKAITĖ-NARKUN,

Lithuanian Centre for Social Sciences, A. Goštauto 9, 01108 Vilnius, Lithuania

Laima OKUNEVIČIŪTĖ NEVERAUSKIENĖ,

Lithuanian Centre for Social Sciences, A. Goštauto 9, 01108 Vilnius, Lithuania

Faculty of Business Management, Vilnius Gediminas Technical University,

Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, Lithuania



GEOPOLITICAL SHOCKS, FUEL POLICY, AND SUSTAINABLE TRANSITION IN THE EU AVIATION SECTOR

Abstract

The aviation sector in the European Union is undergoing a complex transformation shaped by decarbonisation goals, changing fuel policies, and growing geopolitical uncertainty. Recent geopolitical shocks, including energy market volatility, supply chain disruptions, and broader security-related tensions, have increased pressure on the air transport sector and highlighted the importance of resilience in the transition toward sustainability. At the same time, EU regulatory initiatives aimed at promoting sustainable aviation fuels are creating new economic and managerial challenges for airlines, airports, and other market participants.

This paper examines how geopolitical shocks and fuel policy interact in shaping the sustainable transition of the EU aviation sector. Particular attention is paid to the socio-economic implications of this transition, including rising operating costs, competitiveness pressures, investment needs, and uneven adaptation capacity across the sector.

The study is based on a qualitative analysis of EU policy developments, recent energy and aviation market trends, and academic discussions on crisis resilience and sustainable development. The paper argues that the sustainable transition of aviation should be understood not only as an environmental objective but also as a socio-economic and managerial challenge requiring coordinated policy design, risk management, and long-term strategic adaptation.

Keywords: EU aviation sector; geopolitical shocks; fuel policy; sustainable aviation fuels; sustainable transition; economic resilience; air transport; sustainable development

Introduction

Recent geopolitical developments demonstrate that aviation remains one of the transport sectors most vulnerable to international crises. In 2026, the escalation of military tensions involving Iran and the broader Middle East led to renewed operational concerns for airlines and regulators. EASA updated its Conflict Zone Information Bulletin for the Middle East and Persian Gulf, covering Iran and surrounding airspace. EUROCONTROL's weekly overviews show that traffic flows between Europe and the Middle East dropped sharply during the crisis, and later updates confirmed that these disruptions remained significant. The continuing rerouting of flights has implied longer trajectories, additional fuel burn, and higher emissions, meaning that geopolitical shocks have consequences not only for safety, but also for operating efficiency, punctuality, and environmental performance (EASA, 2026a; EUROCONTROL, 2026b, 2026c).

Additional pressure comes from jet fuel price volatility. IATA's Jet Fuel Price Monitor reported a marked weekly increase in global jet fuel prices, while IATA's



fuel materials continue to emphasize that fuel remains one of the largest categories in airline operating costs. In the context of the Iran-related crisis and disruption risks around regional energy routes, Reuters reported renewed stress in fuel markets, a surge in fuel-related costs for airlines, and delayed expectations of supply normalization even after tentative easing in direct conflict intensity. For airlines, such price shocks immediately affect profitability, pricing, network planning, and broader strategic resilience (IATA, 2026a, 2026b; Reuters, 2026a, 2026b, 2026c).

At the same time, the aviation sector is facing growing regulatory pressure to decarbonize. ICAO positions CORSIA as the first global market-based measure for international aviation, and sustainable aviation fuels are treated as one of the key instruments for reducing lifecycle emissions. Within the EU, this transition is being institutionalized through ReFuelEU Aviation, which gradually mandates higher SAF uptake at Union airports. EASA's ReFuelEU Aviation Annual Technical Report 2025 notes that SAF accounted for only 0.6% of all aviation fuel supplied at EU airports in 2024, despite the binding upward trajectory of SAF shares under the new framework. EASA's 2025 aviation fuel reference prices for ReFuelEU Aviation further illustrate that the sector is moving from broad regulatory ambition to a more concrete phase of implementation, in which price differentials and compliance costs become central economic issues (European Commission, 2026; EASA, 2025, 2026b; ICAO, 2026a, 2026b).

Recent academic literature increasingly stresses that sustainable aviation transition should not be understood solely as a technological or environmental process. Song (2025) shows that geopolitical risk has a measurable impact on airline stock market performance, while Cai (2025) demonstrates similar effects for major European carriers. Reisdorf et al. (2025) argue that European SAF regulation creates both opportunities and substantial short-term economic and operational challenges. Wandelt et al. (2025) identify persistent barriers to SAF deployment, including limited supply, high cost, infrastructure constraints, and regulatory uncertainty. In addition, recent work on EU SAF policy highlights that fuel transition measures affect not only long-term strategic direction, but also everyday airline operating decisions. Taken together, these studies suggest that the sustainable transition of aviation is simultaneously an environmental, economic, and management challenge (Cai, 2025; Reisdorf et al., 2025; Song, 2025; Wandelt et al., 2025).

Against this background, the relevance of this paper lies in examining how the latest geopolitical shocks, especially the Iran-related conflict escalation, fuel price spikes, and recent policy decisions in European and international aviation governance are jointly shaping the sustainable transition of the EU aviation sector. The central problem is that the push for decarbonization through SAF policy is unfolding at a time when aviation remains highly vulnerable to external shocks that affect energy prices, fuel supply, route structures, and overall economic resilience. Therefore,



sustainable aviation transition should be assessed not only in environmental terms, but also through the lens of socio-economic stability, crisis resilience, and strategic sector management. Accordingly, the aim of this paper is to examine how geopolitical shocks and fuel policy influence the sustainable transition, economic stability, and resilience of the EU aviation sector (EUROCONTROL, 2026a; EASA, 2025; European Commission, 2026).

Literature review

The European Union aviation sector is currently operating in an increasingly complex environment shaped by economic resilience concerns, energy insecurity, geopolitical risk, and the accelerating pressure of sustainable transition. After the post-pandemic recovery, air transport in Europe returned to growth: according to Eurostat, 1.1 billion passengers travelled by air in the EU in 2024, which was 8.3% more than in 2023 and above the pre-pandemic 2019 level. Eurostat also reports that passenger volumes continued to increase in 2025. In parallel, EUROCONTROL indicates that European aviation in 2025 recovered to approximately 100% of 2019 traffic levels, reaching around 11.05 million flights. However, this quantitative recovery does not necessarily imply structural stability, as the sector remains highly exposed to external shocks affecting route planning, operating costs, investment decisions, and regulatory adaptation (Eurostat, 2025a, 2025b; EUROCONTROL, 2026a).

Recent studies increasingly conceptualize aviation transition as a complex process involving not only decarbonization, but also economic resilience and geopolitical vulnerability. In the EU context, this perspective is particularly relevant because climate policy is tightening at a time when air traffic volumes have largely recovered, while the sector remains exposed to external shocks, route disruptions, and fuel price volatility. Official statistics from Eurostat and EUROCONTROL indicate that European aviation has recovered in quantitative terms; however, this does not imply lower systemic risk, as the sector continues to be strongly affected by geopolitical uncertainty and instability in energy markets.

The first major strand of the literature examines the impact of geopolitical risk on the financial stability of the aviation sector. Song, Su, and Qin (2025) demonstrate that geopolitical risk has a significant effect on airline stock market performance, with the impact intensifying during periods of heightened uncertainty. Similarly, Cai, Fu, and Zhang (2025), focusing on major European carriers, show that geopolitical risk negatively affects airline stock returns and financial stability. These findings suggest that geopolitical shocks in aviation should not be treated as temporary disturbances only, but rather as structural drivers of economic vulnerability affecting not only route networks and operational continuity, but also capital valuation and investor expectations.



A second strand of the literature addresses oil and jet fuel price shocks. Cai (2025) finds that oil price shocks exert a strong influence on airline stock returns and volatility, while Gabbiadini, Longin, and Ravazzolo (2026) show that oil price changes negatively affect the market value of both airlines and airports. These findings are reinforced by official IATA data, which indicate that fuel remains one of the largest categories of airline operating costs, while the SAF price premium in 2026 may add approximately USD 4.5 billion to total industry fuel expenditure. Consequently, fuel price volatility remains one of the most important channels through which geopolitical and energy-related shocks affect the economic stability of aviation.

A third key strand focuses on SAF regulation and the economics of sustainable transition. Reisdorf, Kummer, and Soklaridis (2025) argue that European SAF regulation generates both opportunities and substantial competitive and cost-related challenges. Hu (2026) notes that the effectiveness of SAF policy depends to a considerable extent on regulatory flexibility, since overly rigid requirements may increase short-term market distortions and adjustment costs. Wandelt, Zhang, and Sun (2025), in their meta-review, identify the principal barriers to SAF deployment as limited supply, high production costs, insufficient infrastructure, and regulatory uncertainty. These studies suggest that SAF policy is indispensable for long-term decarbonization, but in the short term it also increases economic pressure on airlines and fuel suppliers.

Official statistics support these conclusions. According to EASA, SAF accounted for only 0.6% of all aviation fuel supplied at EU airports in 2024, although a 2% target under ReFuelEU Aviation has applied since 2025. The European Commission emphasizes that ReFuelEU is a central instrument of EU aviation decarbonization, while under ICAO's CORSIA framework SAF is recognized as one of the key tools for reducing emissions from international aviation. Nevertheless, the actual degree of market readiness still lags behind regulatory ambition, revealing a clear gap between policy targets and real fuel availability.

Overall, recent literature and official statistics allow three main conclusions to be drawn. First, geopolitical shocks and fuel price surges have a substantial impact on the economic stability of the aviation sector. Second, SAF policy is strategically necessary, but in the short term it increases cost pressure and adjustment burdens. Third, the long-term resilience of the EU aviation sector will depend on its ability to reconcile climate objectives, fuel supply expansion, and the economic viability of market participants. This confirms that aviation transition should be understood simultaneously as an environmental, economic, and managerial process.

Conclusion

1. The EU aviation sector has largely recovered in terms of traffic volume, yet it remains highly vulnerable to geopolitical and energy-related shocks.



2. Geopolitical conflicts and jet fuel price spikes have a direct impact on the economic stability and resilience of the air transport sector.

3. SAF policy is essential for aviation decarbonization; however, in the short term it increases cost pressure and creates significant adjustment challenges for market participants.

4. A substantial gap still exists between regulatory ambitions and the actual level of market readiness for SAF deployment.

5. The sustainable transformation of aviation should be addressed through a balanced combination of environmental, economic, and managerial measures.

REFERENCES

1. Cai, Y. (2025). *Geopolitical risks and airlines stock return—Implications for European main carriers*. *Journal of Air Transport Management*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X2500174X?>

2. EASA. (2025). *ReFuelEU Aviation annual technical report 2025*. European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/refueleu-aviation-annual-technical-report-2025?>

3. EASA. (2026a). *Airspace of the Middle East and Persian Gulf (CZIB 2026-03 R5)*. European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-operations/czibs/2026-03-r6?>

4. EASA. (2026b). *2025 aviation fuels reference prices for ReFuelEU Aviation*. European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/2025-aviation-fuels-reference-prices-refueleu-aviation?>

5. European Commission. (2026). *ReFuelEU Aviation*. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueleu-aviation_en?

6. Eurostat. (2025a). *Air passenger transport statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Air_passenger_transport_statistics&

7. Eurostat. (2025b). *Number of air passengers up 8% in 2024*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20251208-1?>

8. EUROCONTROL. (2026a). *EUROCONTROL forecast 2026–2032*. <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-forecast-2026-2032?>

9. EUROCONTROL. (2026b). *EUROCONTROL European Aviation Overview 2026 – Week 9*. <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-european-aviation-overview-2026-week-9?>

10. EUROCONTROL. (2026c). *EUROCONTROL European Aviation Overview 2026 – Week 11*. <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-european-aviation-overview-2026-week-11?>



11. IATA. (2026a). *Jet Fuel Price Monitor*. International Air Transport Association. <https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/>
12. IATA. (2026b). *Fuel*. International Air Transport Association. <https://www.iata.org/en/programs/ops-infra/fuel/>
13. IATA. (2026c). *Fuel fact sheet*. International Air Transport Association. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-fuel/>
14. ICAO. (2026a). *CORSIA*. International Civil Aviation Organization. <https://www.icao.int/CORSIA/>
15. ICAO. (2026b). *CORSIA eligible fuels*. International Civil Aviation Organization. <https://www.icao.int/CORSIA/corsia-eligible-fuels/>
16. Reisdorf, A. R., Kummer, S., & Soklaridis, S. (2025). *Opportunities and challenges arising from European sustainable aviation fuel regulations: A case study approach*. *Cleaner Logistics and Supply Chain*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2941198X25000296?>
17. Reuters. (2026a, April 8). *IATA chief says jet fuel supply could take months to recover after Hormuz reopening*. <https://www.reuters.com/business/energy/iata-chief-says-jet-fuel-supply-could-take-months-recover-after-hormuz-reopening-2026-04-08/>.
18. Reuters. (2026b, April 7). *Delta Air, Southwest Airlines hike checked baggage fees as jet fuel prices soar*. <https://www.reuters.com/business/delta-air-hikes-checked-baggage-fees-jet-fuel-prices-soar-2026-04-07/>.
19. Reuters. (2026c, April 6). *Air NZ hikes fares, cuts flights as fuel costs more than double on Iran war*. <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/air-nz-hikes-fares-cuts-flights-fuel-costs-more-than-double-iran-war-2026-04-06/>.
20. Song, X. Y. (2025). *How geopolitical risk affects the market performance of airline stocks?* *Journal of Air Transport Management*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X2500321X?>
21. Wandelt, S., Zhang, Y., & Sun, X. (2025). *Sustainable aviation fuels: A meta-review of surveys and key challenges*. *Cleaner Logistics and Supply Chain*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2941198X24000678?>
22. Cai, Y., Fu, X., & Zhang, Y. (2025). *Geopolitical risks and airlines stock return—Implications to the financial stability of European airlines*. *Transport Policy*, 170, 51-57. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X2500174X?>
23. EASA. (2025). *ReFuelEU Aviation annual technical report 2025*. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/refueleu-aviation-annual-technical-report-2025?>
24. European Commission. (2026). *ReFuelEU Aviation*. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueleu-aviation_en?



25. Eurostat. (2025). *Air passenger transport statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Air_passenger_transport_statistics&
26. EUROCONTROL. (2026). *EUROCONTROL forecast 2026–2032*. <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-forecast-2026-2032?>
27. Gabbiadini, M., Longin, F., & Ravazzolo, F. (2026). *The impact of oil prices shocks in the valuation of stock market listed companies: The aviation industry*. *Journal of Air Transport Management*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699725001450?>
28. Hu, R. (2026). *How to promote sustainable aviation fuel: Is flexibility effective?* *Transport Policy*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019126152600038X?>
29. IATA. (2025). *Fuel fact sheet*. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-fuel/>
30. ICAO. (2026). *CORSIA*. <https://www.icao.int/CORSIA>
31. Reisdorf, A. R., Kummer, S., & Soklaridis, S. (2025). *Opportunities and challenges arising from European sustainable aviation fuel regulations: A case study approach*. *Journal of the Air Transport Research Society*, 5, 100085. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2941198X25000296?>
32. Song, X. Y., Su, C. W., & Qin, M. (2025). *How geopolitical risk affects the market performance of airline stocks?* *Transport Policy*, 172, 103778. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X2500321X?>
33. Wandelt, S., Zhang, Y., & Sun, X. (2025). *Sustainable aviation fuels: A meta-review of surveys and key challenges*. *Journal of the Air Transport Research Society*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2941198X24000678?>

УДК 667.64:678.026

Михайло БАНГА,
аспірант,
Віталій ТОРОПЕНКО,
МОЛ. Н. С.,
Херсонська державна морська академія, м. Херсон

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ТА СТІЙКОСТІ ДО ОБРОСТАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ

Проблема корозійного руйнування металевих конструкцій та біологічного обростання поверхонь є однією з ключових проблем у сучасній промисловості,



зокрема у суднобудуванні, морській інфраструктурі, енергетиці та транспортному машинобудуванні. Щорічні втрати від корозії у розвинених країнах становлять до 3...4% валового внутрішнього продукту, що зумовлює необхідність розроблення ефективних захисних покриттів із підвищеною довговічністю та багатофункціональністю. Особливо актуальною є проблема експлуатації конструкцій у морському та прибережному середовищі, де одночасно діють фактори електрохімічної корозії, соляної аерозолі та біообростання.

Нами проведено дослідження та аналіз полімерних захисних покриттів на основі епоксидних і поліуретанових матриць, модифікованих функціональними наповнювачами. Основною метою є оцінка їх корозійної стійкості, адгезійної міцності та здатності протидіяти біологічному обростанню в умовах тривалого контакту з морською водою. Встановлено, що епоксидні покриття забезпечують вищі експлуатаційні характеристики, порівняно з традиційними та дозволяє знизити швидкість корозійного руйнування металу до рівня 0,005...0,02 мм/рік, що у десятки разів менше порівняно з незахищеними поверхнями.

Окрему увагу приділено дослідженню стійкості полімерних покриттів протидіяти біологічному обростанню. Встановлено, що модифіковані полімерні покриття з гідрофобною поверхнею мають кут змочування понад 100...120°, що значно знижує адгезію морських організмів (мікродоростей, моллюсків, бактерій) до поверхні конструкцій. Це дає можливість зменшити швидкість первинної колонізації поверхонь водного транспорту і металоконструкцій морської інфраструктури у 3...5 рази у порівнянні з традиційними лакофарбовими системами.

Окремим перспективним напрямом є застосування таких покриттів у конструкціях безекіпажних морських апаратів, які використовуються для моніторингу акваторій та виявлення вибухонебезпечних предметів, зокрема мін. Для таких систем критично важливими є низький гідродинамічний опір, стабільність навігаційних характеристик та мінімізація енергоспоживання. Біообростання корпусів безекіпажних апаратів призводить до суттєвого зниження автономності (до 20...30%) та погіршення точності маневрування. Застосування гідрофобних полімерних покриттів дозволяє стабілізувати гідродинамічні характеристики корпусів безекіпажних апаратів, зменшити турбулентність потоку в прикордонному шарі та підвищити енергоефективність рухових систем. Це особливо важливо при виконанні місій тривалого автономного пошуку мін у прибережних зонах та районах із підвищеним рівнем замулення, зокрема в акваторії Чорного моря. Окрім того, такі покриття демонструють високу стійкість до циклічних навантажень, кавітаційного



впливу та абразивного зношування, що характерно для роботи підводних роботизованих систем.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Panda A, Dyadyura K, Valíček J, Harničárová M, Kušnerová M, Ivakhniuk T, Hrebennyk L, Saprionov O, Sotsenko V, Vorobiov P, Levytskyi V, Buketov A, Pandová I. Ecotoxicity Study of New Composite Materials Based on Epoxy Matrix DER-331 Filled with Biocides Used for Industrial Applications. *Polymers*. 2022. 14(16):3275. <https://doi.org/10.3390/polym14163275>

[2] 43. Saprionov O., Dyadyura K., Vorobiov P., et al. Corrosion-Resistant Epoxy Coatings Filled with Nanoparticles of Vegetable Origin to Protect Water Vehicles. *J. of Nano- and El. Phys.* 2023. 15(5). 1-7. [https://doi.org/10.21272/jnep.15\(5\).05025](https://doi.org/10.21272/jnep.15(5).05025)

УДК 667.64:678.026

Р.Т. БИЩАК,

к.т.н., доцент,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

м. Івано-Франківськ,

О.О. САПРОНОВ,

д.т.н., професор,

Херсонська державна морська академія, м. Херсон,

М.В. БРАЇЛО,

к.т.н., доцент,

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

ОПТИКО-ЦИФРОВИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ КОРОЗІЙНИХ ДЕФЕКТІВ ГАЗОПРОВОДУ

Розвиток робототехніки у різних галузях промисловості, включаючи виробництво, транспорт, охорону здоров'я, сільське господарство, інфраструктуру та енергетику є рушійною силою розвитку економіки України. Сучасні роботизовані механізми спрямовані не лише на підвищення ефективності операцій та зменшення необхідності залучення людської діяльності, але й на підвищення точності, безпеки та надійності в зонах, які вважаються небезпечними або недоступними для людини. Нафтогазова промисловість – один із секторів, що став надзвичайно революційним завдяки застосуванню робототехніки та автоматизації [1, 2]. Трубопроводи є життєдайною артерією цієї галузі, і вони використовуються для безперервного



транспортування нафти, газу та інших ресурсів на великі відстані. Незважаючи на всі ці переваги, трубопроводи схильні до корозії, тріщин, витоків, пошкодження зварних з'єднань та будь-якого іншого структурного погіршення через експлуатаційні навантаження та середовище, в якому ці трубопроводи встановлені або транспортують [3–5]. Тому їх необхідно постійно контролювати та обслуговувати, щоб уникнути збоїв, які можуть призвести до надзвичайних екологічних руйнувань, втрат економіки або навіть втрати життів [6, 7]. Традиційні методи діагностування базуються на діагностуванні за допомогою ручного контролю, неруйнівного контролю та вимірювань за допомогою датчиків. Хоча ці методи були певною мірою ефективними, вони є трудомісткими та схильними до помилок, що виникають через людські обмеження. Випадки ручного контролю в обмежених умовах не тільки є ризикованими для безпеки, але й обмежують охоплення та повторюваність. Це призвело до того, що потреба в інтелектуальних, автоматизованих технологіях діагностування з можливістю проведення аналізу в режимі реального часу та прогнозного технічного обслуговування стає все більш нагальною. Нещодавні прориви в галузі штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) відкрили нові можливості щодо впровадження автоматизації процесу діагностування, так як інтелектуальне виявлення, класифікація та кількісна оцінка несправностей та пошкоджень стали можливими завдяки поєднанню зображень високої роздільної здатності та сучасних датчиків [8, 9].

Таким чином для діагностування зміни площі корозійних дефектів по глибині газопроводу зовнішню поверхню газопроводу шліфували з кроком 0,4 мм. Методика аналізу ґрунтується на підходах теорії самоподібних множин. Корозійну поверхню фотографували із наступним перетворенням початкових (півтонових) зображень у їх чорно-білі (бінарні) відповідники. Після перетворення на білому полі бінарного зображення матриці чорним кольором відображались структурні елементи, параметри яких (контури, розміри, відносну частку корозійного ушкодження) аналізували. Бінаризовані зображення розглядали, як дискретну апроксимацію характеристичних функцій аналізованого об'єкта або статистично-геометричну модель структури. Вибраний поріг бінаризації не спотворює статистичні масиви даних і зберігає масштабну відповідність геометричних параметрів аналізованих об'єктів.

Впорядкованість у розташуванні корозійних дефектів вказує на процеси структуроутворення за умов самоорганізації, характерні для негомогенних середовищ. Елементи цифрової матриці дозволяють описати процеси структурних перетворень мережі корозійних дефектів за експлуатаційних умов.

З метою виявлення геометричних параметрів корозійних дефектів, що входять до складу дефектної ділянки трубопроводу, проводили пошарове зашліфування корозійного поверхневого шару і автоматизований аналіз



одержаних площ дефектів. Це дозволило одержати параметри взаємозв'язку глибини та площі дефектів у осьовій площині та перпендикулярно до осі трубопроводу.

Розроблено підходи, які дозволяють за параметрами двомірного дефекту (2D) визначати глибину корозійного ушкодження (3D) із урахуванням попередньо виявлених геометричних особливостей формування корозійних дефектів.

З використанням апріорної інформації про будову відповідної ділянки поверхні запропоновано наступну послідовність реконструкції:

- на 2D – зображеннях визначають контури корозійних дефектів, обчислюючи їх розміри та площі;
- за параметрами корозійних дефектів реконструюють їх глибину і форму;
- проводять програмні та фізичні зрізи одержаної моделі дефекту, співставляючи одержані геометричні структури корозійного ушкодження;
- коефіцієнт форми коригують із урахуванням фізичних закономірностей пошкодження;
- отриману 3D-модель візуалізують.

Під “програмним зрізом” розуміли зміну координат поверхні корозійного дефекту по горизонталі, внаслідок чого отримували зображення на певній глибині. Це дозволило перевірити адекватність роботи алгоритму та одержати додаткову інформацію про структуру дефекту і закономірності її формування. Даний метод дозволяє аналізувати зміну форми корозійних дефектів після їх зашліфовування перед ремонтним відновленням наплавленням дефектної ділянки газопроводу.

Роботу виконано за фінансової підтримки гранту Національного фонду досліджень України («Підвищення надійності обладнання газо-нафтотранспортного комплексу шляхом впровадження алгоритмів діагностування їх технічного стану та застосування новітніх полімерних матеріалів»). Реєстраційний номер проєкту 2025.07/0008).

ЛІТЕРАТУРА

- [1] D. Ma, H. Fang, N. Wang, H. Hu, X. Jiang, The state-of-the-art in pipe defect inspection with computer vision-based methods, Measurement 257 (Jan. 2026) 118431. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.118431>.
- [2] Y. Yu, P. Shi, A. Krynkin, K.V. Horoshenkov, An application of a beamforming technique, linear acoustic array and robot for pipe condition localization, Measurement 238 (Oct. 2024) 115361. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115361>.



- [3] M.N. Mohammed, et al., Design and development of pipeline inspection robot for crack and corrosion detection, in: 2018 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC), IEEE, Dec. 2018, pp. 29–32. <https://doi.org/10.1109/SPC.2018.8704127>.
- [4] M. Ho, S. El-Borgi, D. Patil, G. Song, Inspection and monitoring systems subsea pipelines: a review paper, Struct. Heal. Monit. 19 (2) (Mar. 2020) 606–645. <https://doi.org/10.1177/1475921719837718>.
- [5] Z. Liu, Y. Kleiner, State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes, Measurement 46 (1) (Jan. 2013) 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.05.032>.
- [6] M. Xie, Z. Tian, A review on pipeline integrity management utilizing in-line inspection data, Eng. Fail. Anal. 92 (Oct. 2018) 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.05.010>.
- [7] Y. Tian, A.G. Palaev, I.A. Shammazov, Y. Ren, Non-destructive testing technology for corrosion wall thickness reduction defects in pipelines based on electromagnetic ultrasound, Front. Earth Sci. 12 (Jul. 2024). <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1432043>.
- [8] T.K. Sahu, S. Thirunavukkarasu, A. Kumar, Intelligent flaw detection in eddy current inspection data through machine learning model, J. Nondestruct. Eval. 44 (3) (Sep. 2025) 88. <https://doi.org/10.1007/s10921-025-01229-2>.
- [9] Ma Q., Tian G., Zeng Y. Pipeline In-Line Inspection Method, Instrumentation and Data Management. Sensors. 2021. 21.3862. <https://doi.org/10.3390/s21113862>

УДК 667.64:678.026

М.В. БРАЇЛО,

к.т.н., доцент,

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

О.О. САПРОНОВ,

д.т.н., професор,

Херсонська державна морська академія, м. Херсон,

Р.Т. БІЩАК,

к.т.н., доцент,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

м. Івано-Франківськ,



ЗАСТОСУВАННЯ БАНДАЖНИХ ВИРОБІВ ПРИ РЕМОНТІ ТРУБОПРОВОДІВ ГАЗО-НАФТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Трубопровідний транспорт є ключовою складовою енергетичної інфраструктури, що забезпечує транспортування нафти та природного газу, які є вкрай необхідними для забезпечення надійної роботи промислових підприємств та потреб суспільства. Значна частина магістральних трубопроводів експлуатується понад встановлений термін, що призводить до накопичення дефектів, зокрема корозійних ушкоджень, тріщин, механічних деформацій та дефектів зварних з'єднань. Тому, особливої уваги приділяють технології ремонту трубопроводів без зупинки транспортування вказаних енергоресурсів. Одним із ефективних напрямів є застосування бандажних виробів, які дозволяють локалізувати дефекти, відновити міцність трубопроводів та продовжити термін їх експлуатації без значних витрат необхідних на ремонт. Використання бандажних конструкцій, зокрема із застосуванням епоксидних композитів, забезпечує підвищення надійності трубопровідних систем, зниження аварійності та мінімізацію екологічних ризиків, що обумовлює актуальність даної тематики [1].

Бандажний ремонт полягає у встановленні спеціальної конструкції на пошкоджену ділянку трубопроводу, яка забезпечує перерозподіл напружень, зменшення їх концентрації в зоні дефекту та відновлення герметичності. Особливу ефективність демонструють бандажі із застосуванням епоксидних композитів, що характеризуються високою адгезією до металевої поверхні, значною міцністю та стійкістю до впливу зовнішніх факторів. Типова конструкція такого бандажа включає металеву оболонку (кожух), яка встановлюється на трубу, та простір між трубою і оболонкою, заповнений епоксидним композитом. Після тверднення композит утворює міцний шар, який спільно з оболонкою сприймає навантаження та забезпечує рівномірний розподіл напружень. Технологія встановлення бандажного виробу передбачає підготовку поверхні труби (очищення від корозії та забруднень), монтаж металевої оболонки, герметизацію стиків, заповнення порожнини епоксидним складом і витримку до повного затвердження полімерного матеріалу. Важливим етапом є контроль якості виконаних робіт, оскільки ефективність ремонту значною мірою залежить від дотримання встановленої технології. Застосування подібного способу ремонту ділянок трубопроводів має низку переваг, серед яких можливість проведення ремонту без зупинки транспортування продукту, зниження вартості робіт, скорочення часу відновлення працездатності трубопроводу та мінімальне втручання в його конструкцію. Крім того, використання композитних матеріалів дозволяє значно підвищити залишковий ресурс трубопроводів [3].



Перспективи розвитку даного напрямку пов'язані із впровадженням нових композитних матеріалів з покращеними фізико-механічними властивостями, використанням методів чисельного моделювання для оцінки напружено-деформованого стану системи «труба–бандаж», а також застосуванням сучасних засобів моніторингу технічного стану трубопроводів після їх ремонту.

Отже, застосування бандажних виробів, зокрема із використанням епоксидних композитів, є ефективним і перспективним методом ремонту трубопроводів газо-нафтотранспортного комплексу, що дозволяє підвищити їх надійність, продовжити термін експлуатації та зменшити ризики виникнення аварійних ситуацій. Подальші напрями розвитку досліджень у даній галузі доцільно зосередити на поглибленому вивченні напружено-деформованого стану системи «труба–бандаж» із урахуванням реальних умов експлуатації, зокрема змінних навантажень, температурних впливів та агресивних середовищ. Перспективним є розроблення та впровадження нових вискоефективних композитних матеріалів із покращеними адгезійними та фізико-механічними характеристиками. Також актуальним є вдосконалення методів розрахунку бандажних конструкцій, зокрема із використанням чисельного моделювання та методів скінченних елементів, що дозволить більш точно прогнозувати їх поведінку в умовах експлуатації. Не менш актуальним є впровадження сучасних систем моніторингу технічного стану трубопроводів після ремонту, що дозволить здійснювати безперервний контроль за ефективністю функціонування бандажних виробів. Таким чином, подальший розвиток досліджень у напрямі застосування бандажних виробів сприятиме підвищенню надійності, безпеки та економічної ефективності експлуатації трубопроводів газо-нафтотранспортного комплексу.

Роботу виконано за фінансової підтримки гранту Національного фонду досліджень України («Підвищення надійності обладнання газо-нафтотранспортного комплексу шляхом впровадження алгоритмів діагностування їх технічного стану та застосування новітніх полімерних матеріалів». Реєстраційний номер проєкту 2025.07/0008).

ЛІТЕРАТУРА

[1] Niksirat M., Rahimi G., Hosseini S., Liaghat G. Experimental and numerical investigation of repaired pipeline by composite sleeve using DIC technique and FEM. *Journal of Pipeline Science and Engineering*. 2025. 100349. <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2025.100349>



[2] Arifin H.H., Zardasti L., Lim K. et al. Stress distribution analysis of composite repair with Carbon Nanotubes reinforced putty for damaged steel pipeline. 2021. 194. 104537. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104537>

[3] Buketov A., Sapronov O., Klevtsov K., Kim B. Functional Polymer Nanocomposites with Increased Anticorrosion Properties and Wear Resistance for Water Transport. Polymers. 2023. 15. 3449. <https://doi.org/10.3390/polym15163449>

УДК 667.64:678.026

*Андрій БУКЕТОВ,
д.т.н., професор,
Владислав СТРЕЛЬЧЕНКО,
аспірант,
Людмила САПРОНОВА,
аспірант,
Херсонська державна морська академія, м. Херсон*

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ГАЗО-НАФТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Сьогоднішні стандарти використання транспортних засобів, особливо ті, що стосуються перевезення газу та нафти, ставлять вимоги не лише до простоти формування й нанесення захисних шарів, але й до їхньої підвищеної зносостійкості та тривалого ресурсу. Наявні антикорозійні та антикавітаційні покриття часто не задовольняють споживачів через низьку ефективність при тривалій роботі в агресивному середовищі. Тому виникає потреба у створенні новітніх композитів, які б мали високий опір зношуванню та корозії, малу втомну повзучість і кращі механічні властивості [1, 2].

Епоксидні композити формували на основі пластифікованої епоксидної матриці. Експериментально доведено, що з метою поліпшення реологічних і механічних властивостей композитних матеріалів (КМ) у епоксидний олігомер (100 мас.%) необхідно уводити пластифікатор у вигляді аліфатичної смоли ДЕГ-1 (12 мас.%). Полімеризувати композицію слід твердником ПЕПА у кількості 12 мас.%.

Враховуючи наведене вище у роботі проведено дослідження механічних властивостей армованих різними тканинами КМ. Використано системний підхід у кілька етапів, що включає дослідження КМ з тканинами одного типу, склеєних пластифікованою матрицею.

На попередньому етапі досліджували фізико-механічні властивості КМ на основі вихідної епоксидної матриці та тканин різного типу. Зазначимо, що при



виготовленні зразків використовували 6 тканин різного типу з товщиною 0,2 мм.

Експериментально встановлено залежність фізико-механічних властивостей КМ від типу використаної тканини на основі скляних, вуглецевих і базальтових волокон. Встановлено динаміку зростання густини КМ від типу тканини у напрямку: скляна ($1,4 \text{ г/см}^3$) \approx вуглецева ($1,4 \text{ г/см}^3$) < базальтова ($1,5 \text{ г/см}^3$), що зумовлено вищою щільністю базальтових волокон. Аналогічно послідовно підвищується показник твердості за Брінеллем (НВ) від КМ зі скляною (84) до КМ з вуглецевою (86) та базальтовою (87) тканинами. Це пояснюється збільшенням опору поверхні композиту локальному деформуванню в результаті дії індентора. Максимальне значення ударної в'язкості (96 кДж/м^2) спостерігали для КМ з базальтовою тканиною. Дане значення є дещо вищим порівняно з показниками для КМ, армованих скляною (94 кДж/м^2) та вуглецевою (93 кДж/м^2) тканинами, що свідчить про здатність такого композиту досить ефективно розсіювати енергію удару. На наш погляд, механізм підвищення міцності при ударі полягає в тому, що волокна тканин, будучи міцнішими за матрицю, сприймають основне ударне навантаження, перешкоджаючи поширенню фронтальних тріщин.

Доведено, що руйнівні напруження при згині також зростають із зміною типу тканин у композитах: 514 МПа (КМ зі скляною тканиною), 526 МПа (КМ з вуглецевою тканиною), 538 МПа (КМ з базальтовою тканиною). Аналогічну тенденцію виявлено при аналізі результатів випробувань руйнівних напружень при розтягу: 380 МПа (КМ зі скляною тканиною), 402 МПа (КМ з вуглецевою тканиною), 413 МПа (КМ з базальтовою тканиною). Отримані результати свідчать про підвищення міцності композитів у комплексі (на згин і розтяг), що доводить ефективність застосування базальтових тканин для протидії зовнішнім навантаженням.

Покращення механічних характеристик КМ, армованих тканинами різного типу, особливо базальтовими, пояснюють їх високою міцністю на розрив і підвищеною адгезією до епоксидної матриці. Підвищена міцність адгезійного зчеплення зумовлена наявністю активних груп на поверхні базальтових волокон, що забезпечує активацію міжфазової взаємодії з макромолекулами епоксидного олігомеру при зшиванні КМ.

Композити з вуглецевими і скляними тканинами, маючи високі показники твердості і модуля пружності, забезпечують достатню стабільність показників властивостей у часі, а також стійкість до деформації. При цьому відмітимо збалансованість співвідношенню міцності та вартості КМ з даними тканинами.

Отже, застосування армуючих тканин у КМ, зокрема базальтової, дозволяє суттєво підвищити як міцність (на згин та розтяг), так і експлуатаційні (твердість, ударна в'язкість) характеристики епоксидних композитів. Отримані



результати доводять доцільність вибору базальтових і вуглецевих тканин для отримання високоміцних та жорстких композитних виробів чи покриттів, де необхідно забезпечити високу несучу здатність і стійкість до ударних й динамічних навантажень.

Враховуючи отримані результати надалі для формування композитів вибрано базальтову і вуглецеву тканини. При цьому їх склеювання проводили пластифікованим аліфатичною смолою епоксидним зв'язувачем.

Роботу виконано за фінансової підтримки гранту Національного фонду досліджень України («Підвищення надійності обладнання газо-нафтотранспортного комплексу шляхом впровадження алгоритмів діагностування їх технічного стану та застосування новітніх полімерних матеріалів»). Реєстраційний номер проєкту 2025.07/0008).

ЛІТЕРАТУРА

[1] M. Ho, S. El-Borgi, D. Patil, G. Song, Inspection and monitoring systems subsea pipelines: a review paper, Struct. Heal. Monit. 19 (2) (Mar. 2020) 606–645. <https://doi.org/10.1177/1475921719837718>.

[2] M. Xie, Z. Tian, A review on pipeline integrity management utilizing in-line inspection data, Eng. Fail. Anal. 92 (Oct. 2018) 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.05.010>.

УДК 659.1.011.4:656:004.77

Олександр БУРЛАКА,
фахівець із закупівлі реклами,
Рекламна агенція “Quick Leads”, м. Київ

ТРАНСПОРТНА ГАЛУЗЬ У ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ ЯК ПРОСТІР ЕФЕКТИВНИХ РЕКЛАМНИХ КАМПАНІЙ ТА ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ

Сучасний розвиток транспортної галузі характеризується активною цифровізацією, що охоплює як виробничі процеси, так і комунікаційні стратегії підприємств. Інтеграція цифрових технологій у маркетинг трансформує підходи до просування послуг і взаємодії зі споживачами. У цих умовах зростає значення ефективних рекламних кампаній, що базуються на цифровому маркетингу, аналітиці даних та автоматизованих системах закупівлі реклами.



Для забезпечення конкурентоспроможності підприємства поєднують традиційні та цифрові маркетингові інструменти [1].

Цифрове середовище формує нові умови функціонування ринку транспортних послуг, що характеризуються високим рівнем конкуренції, зростанням ролі інформаційних потоків і зміною поведінки споживачів. Ефективність рекламної діяльності в цифровому маркетингу визначається такими показниками, як рівень залучення аудиторії, конверсія, вартість залучення клієнта та рентабельність інвестицій. Диджиталізація охоплює всі сфери життя, змінюючи способи сприйняття інформації та взаємодії зі споживачем, що зумовлює потребу в нових маркетингових стратегіях з урахуванням персоналізації, роботи з великими даними та неоднорідності аудиторії [2, с.48].

Особливістю рекламних кампаній у транспортній галузі є їх орієнтація як на кінцевих споживачів (B2C), так і на корпоративний сектор (B2B). У першому випадку значна увага приділяється емоційній складовій рекламних повідомлень, персоналізації контенту та формуванню лояльності клієнтів. У другому – домінують раціональні аргументи, пов'язані з ефективністю, надійністю та економічною доцільністю транспортних рішень. Така специфіка зумовлює необхідність диференційованого підходу до вибору каналів комунікації, форматів рекламних матеріалів та методів оцінки їх результативності.

Таким чином, ефективна рекламна стратегія транспортних компаній передбачає диференційований підхід до комунікації з різними цільовими аудиторіями, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність та розширити ринкові можливості підприємства.

Цифрові платформи та соціальні мережі забезпечують збір великих масивів інформації про споживачів, а машинне навчання дає змогу знаходити приховані патерни, прогнозувати поведінку клієнтів, оцінювати ефективність кампаній у реальному часі та створювати персоналізовані пропозиції нового рівня [3].

Важливу роль у реалізації рекламних стратегій відіграє фахівець із закупівлі реклами, діяльність якого охоплює процеси медіапланування, вибору рекламних платформ, управління бюджетами та моніторингу ефективності кампаній. У контексті цифрового середовища особливого значення набуває використання програматик-реклами (Programmatic Advertising), що базується на технологіях штучного інтелекту та машинного навчання. Вона автоматизує закупівлю рекламних місць і забезпечує більш точне таргетування на основі поведінкових характеристик споживачів. Аналіз великих даних дає змогу адаптувати рекламні оголошення до поведінки аудиторії, що підвищує ефективність рекламних кампаній і рівень конверсії [4].



Аналітичний компонент є невід'ємною складовою оптимізації рекламних кампаній у транспортній галузі. Використання сучасних інструментів веб-аналітики дає змогу здійснювати комплексний моніторинг поведінки користувачів, визначати ефективність окремих каналів комунікації та оперативно коригувати рекламну стратегію. Основними метриками оцінювання виступають показники клікабельності (Click-Through Rate), вартості кліку (Cost Per Click), вартості цільової дії (Cost Per Action) та рентабельності інвестицій (Return on Investment), що забезпечують об'єктивну оцінку результативності рекламної діяльності.

Розвиток мобільних технологій підвищує ефективність рекламних кампаній у транспортній галузі. Зростання обсягів мобільного трафіку зумовлює необхідність адаптації контенту до мобільних пристроїв, зокрема оптимізації форматів, швидкості завантаження та зручності інтерфейсу. Використання геолокаційних технологій сприяє підвищенню точності таргетування та релевантності рекламних повідомлень. За таких умов підприємства активно застосовують таргетовану, контекстну та програматик-рекламу, серед яких особливо ефективною є таргетована реклама завдяки високому рівню персоналізації [5, с. 367].

Отже, цифрове середовище формує нову парадигму рекламної діяльності у транспортній галузі, яка базується на інтеграції технологічних, аналітичних та комунікаційних інструментів. Ефективність рекламних кампаній визначається здатністю підприємств адаптуватися до динамічних умов ринку, використовувати інноваційні підходи до медіапланування та забезпечувати безперервну оптимізацію рекламних процесів. У цьому контексті діяльність фахівця із закупівлі реклами виступає ключовим елементом, що забезпечує досягнення стратегічних цілей підприємства та підвищення його конкурентоспроможності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бубенець, І., Олініченко, К. & Христенко, С. Маркетингова діяльність в умовах цифровізації: практичний аспект (2025). Проблеми сучасних трансформації. Серія: економіка та управління. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2025-17-04-08>
2. Мороз, О., Коробченко, В. & Тонкошкур, М. Трансформація маркетингових стратегій в епоху діджиталізації: вплив цифрових технологій на поведінку споживачів (2024). Центральнотраїнський науковий вісник. Економічні науки. Випуск № 11 (44). DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2024.11\(44\).47-55](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2024.11(44).47-55)



3. Гольдич, О. & Шульгіна, Л. Еволюція сучасних інструментів маркетингу та роль штучного інтелекту. Журнал стратегічних економічних досліджень, № 3(20), 2025. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5398.2025.3.3>.

4. Рибак О. В. Інноваційні підходи до управління маркетингом підприємства в умовах цифрової трансформації. Економіка та суспільство. Випуск № 73/2025. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-73-60>

5. Рошко, С. & Гогерчак, В. Перспективні напрями розвитку реклами в міжнародному бізнесі в умовах глобальних трансформацій. Сталий розвиток економіки № 5 (56), 2025. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-56-50>

УДК 656.13

Ольга ВОЙТОВИЧ

к.т.н., доцент,

доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу

Херсонського національного технічного університету

Віра ТКАЧ

старший викладач кафедри транспортних систем і технічного сервісу

Херсонського національного технічного університету

**ВПЛИВ ОНОВЛЕНИХ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ
ТОВАРОЗНАВЧОЇ ЕКСПЕРТИЗИ КОЛІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО
ЗАСОБУ НА ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО ЗБИТКУ
(НА ПРИКЛАДІ VOLKSWAGEN CARAVELLE)**

Сучасний розвиток нормативної бази у сфері товарознавчої експертизи колісних транспортних засобів зумовлює необхідність перегляду раніше виконаних експертних досліджень. Особливої актуальності це набуває у судовій практиці, де точність і обґрунтованість висновків мають визначальне значення.

У даній роботі здійснено порівняння двох варіантів експертного висновку щодо одного транспортного засобу: первинного від 27.11.2023 р. № 086-2/23 за результатами проведення судової автотоварознавчої експертизи, виконаного за Методикою 2022 року, та повторного розрахунку відповідно до вимог Методики 2025 року.

Зміни в методиці товарознавчої експертизи колісних транспортних засобів (КТЗ) станом на 2025 рік суттєво впливають на підсумкову суму матеріального збитку через оновлення алгоритмів нарахування зносу, врахування ринкових реалій та нових технологічних особливостей сучасних авто.



Встановлено, що у попередній експертизі ринкова вартість транспортного засобу визначалася із використанням узагальнених джерел інформації без належної деталізації ринкових аналогів. Натомість сучасна Методика передбачає обов'язкове використання конкретних пропозицій ринку з можливістю їх перевірки.

У новій редакції Методики посилено вимоги до визначення коефіцієнта фізичного зносу. Якщо у попередньому висновку знос було визначено на рівні 0,62 без детального обґрунтування, то при перерахунку з урахуванням значного пробігу транспортного засобу цей показник було збільшено до 0,7. Це призвело до зменшення вартості відновлювального ремонту з урахуванням зносу.

Трансформація методики товарознавчої експертизи колісних транспортних засобів (КТЗ) обумовлена необхідністю адаптації оцінки до динамічного ринку та нових конструктивних особливостей сучасних авто. Станом на 2025 рік акцент зміщено на цифровізацію розрахунків та суворе дотримання критеріїв економічної доцільності відновлення.

На основі експертного висновку № 086/23 щодо автомобіля Volkswagen Caravelle визначено стратегічні вектори впливу методики.

Враховуючи, що для іномарок віком понад 7 років знос нараховується обов'язково, для даного авто було розраховано показник зносу на рівні, що відповідає його значному пробігу та віку (згідно з вимогами п. 7.2. Методики [1]).

Оскільки об'єкт дослідження експлуатується 8,6 року з інтенсивним пробігом (357 689 км), застосування коефіцієнт фізичного зносу Ез стає обов'язковим. Це створює суттєвий розрив між ринковою вартістю нових запчастин та сумою відшкодування, що розраховується за формулою

$$C_{вр} = C_p + C_m + C_c \cdot (1 - E_3) \quad (1)$$

де C_p - вартість робіт;

C_m - вартість матеріалів;

C_c - вартість складових, що підлягає заміні.

Методика 2025 року чітко регламентує нарахування втрату товарної вартості (ВТВ) при складних кузовних роботах. У випадку з досліджуваним Volkswagen Caravelle, необхідність усунення перекосу кузова та заміна незнімних елементів (арки, підсилювачі стояків) є підставою для збільшення підсумкової суми збитку, попри солідний вік авто.

Встановлено жорстку залежність: якщо вартість відновлення $C_{рем}$ перевищує ринкову вартість авто до ДТП, ремонт визнається недоцільним. У такому разі збиток обчислюється як різниця між вартістю авто до аварії та вартістю ліквідних залишків.



Інтеграція з програмними комплексами Audatex/DAT дозволяє автоматизувати використання актуальних цін та нормативів трудомісткості виробника, що мінімізує суб'єктивізм експерта та підвищує точність розрахунків на дату оцінки.

Вартісні показники відновлення за даними програми Audatex:

- вартість ремонтно-відновлювальних робіт $C_p = 46\ 226,30$ грн (без ПДВ);
- вартість необхідних матеріалів $C_m = 28\ 412,50$ грн (без ПДВ);
- вартість складників, що підлягають заміні $C_c = 382\ 144,20$ грн (без ПДВ).

Розрахунок вартості запчастин зі зносом виконано за формулою

$$C_{\text{зал}} = C_c \cdot (1 - E_3) \quad (2)$$

Таблиця 1.

Порівняльний розрахунок матеріального збитку власника КТЗ в залежності від коефіцієнту фізичного зносу

Показник	Без урахування зносу, грн	З урахуванням зносу ($E_3=0,62$), грн	З урахуванням зносу ($E_3=0,7$), грн
Вартість робіт та матеріалів	74 638,80	74 638,80	74 638,80
Вартість запчастин, які підлягають заміні	382 144,20	145 214,80	114 643,26
Вартість відновлювального ремонту КТЗ (без ПДВ)	456 783,00	219 853,60	189 282,06
Матеріальний збиток (з ПДВ)	548 139,60	263 824,32	227 138,47

Практична апробація методики на прикладі Volkswagen Caravelle демонструє, що для власників вживаних автомобілів зі значним пробігом сума фактичного збитку часто не покриває реальні витрати на СТО. Це зумовлено законодавчою вимогою врахування фізичного зносу, що підкреслює важливість точного розрахунку E_3 та ВТВ для забезпечення справедливості експертного висновку.

Даний розрахунок демонструє, що через високий показник фізичного зносу (зумовлений 8,6 роками експлуатації та пробігом понад 350 тис. км), сума реального матеріального збитку, яку за законом має відшкодувати винуватець, становить менше половини від фактичної вартості відновлення автомобіля.



Це підтверджує тезу про те, що Методика 2025 року (яка базується на чинних алгоритмах 2022-2023 рр.) створює значний фінансовий дефіцит для власників вживаних КТЗ, оскільки різниця у понад 321 000 грн лягає безпосередньо на власника авто.

Узагальнюючи результати дослідження, встановлено, що застосування оновленої Методики призводить до зменшення розміру матеріального збитку (приблизно на 15-20 %, у даному прикладі – 16 %), підвищення точності розрахунків та суттєвого зростання рівня доказовості експертного висновку.

Таким чином, у роботі проведено порівняльний аналіз результатів товарознавчої експертизи колісного транспортного засобу, виконаної за Методикою у редакції 2022 року, та перерахунку за актуалізованими вимогами 2025 року до обґрунтованості експертних розрахунків. Встановлено ключові відмінності у підходах до визначення ринкової вартості, фізичного зносу, вартості відновлювального ремонту та розміру матеріального збитку. Перерахунок за новими правилами призводить до зниження розміру матеріального збитку. Обґрунтовано вплив змін нормативної бази на кінцеві результати експертного дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика товарознавчої експертизи та оцінки колісних транспортних засобів : затв. наказом М-ва юстиції України, Фонду держ. майна України від 24.11.2003 № 142/5/2092 (у редакції станом на 2025 р.). Київ, 2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1074-03#Text> (дата звернення: 09.04.2026).
2. Методика визначення обсягу ремонтних дій при встановленні розміру матеріального збитку, заподіяного власнику колісного транспортного засобу : Реєстраційний код 12.2.03 : дата держ. реєстрації 12.09.2014. Реєстр методик проведення судових експертиз.
3. Audatex. Програмне забезпечення для оцінки транспортних засобів : вебсайт. URL: <https://www.audatex.ua> (дата звернення: 09.04.2026).
4. Інструкція про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень : затв. наказом М-ва юстиції України від 08.10.1998 № 53/5 (із змінами та доповненнями). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0705-98#Text> (дата звернення: 09.04.2026).
5. Бюлетень автотоварознавця. № 126. СЕУ, листопад 2022.
6. Бюлетень автотоварознавця. № 131. СЕУ, жовтень 2023.
7. EXIST.UA. Інтернет-ресурс для пошуку інформації про транспортні засоби : вебсайт. URL: <https://exist.ua> (дата звернення: 09.04.2026).



8. Про затвердження Вимог до перевірки конструкції та технічного стану колісного транспортного засобу, методів такої перевірки : наказ М-ва інфраструктури України від 26.11.2012 № 710. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2169-12#Text> (дата звернення: 09.04.2026).

9. ДСТУ 4278:2019. Дорожній транспорт. Транспортні засоби. Номери розпізнавальні. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 46 с.

10. Про затвердження Правил експлуатації колісних транспортних засобів : наказ М-ва інфраструктури України від 26.07.2013 № 550. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1453-13#Text> (дата звернення: 09.04.2026).

УДК 624.01

Микола ВОЛОШИН

к.т.н., доцент;

*завідувач кафедри гідротехнічного будівництва,
водної та електричної інженерії;*

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон

ЗАКОРДОННИЙ ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ В БУДІВЛЯХ

Постановка проблеми. У ХХІ столітті в структурі світової енергетики відбуваються якісні зміни. В індустріально-розвинених країнах, на відміну від колишньої орієнтації на великомасштабне нарощування виробництва енергетичних ресурсів, вищим пріоритетом енергетичної стратегії є підвищення рівня енергоефективності. Болтянська Н.І. зауважує, що енергоресурси мають критичне значення для поліпшення якості життя та розширення можливостей для всіх країн [1].

Проблема енергетичного характеру набуває не лише важливого актуального значення, але й вважається частиною формування нової геополітичної та геоеконімічної структури світу [2]. За останні 40 років накопичено багатий зарубіжний досвід реалізації політики щодо підвищення енергоефективності та популяризації впровадження енергозберігаючих заходів в будівлях.

Основні матеріали дослідження. В енергетичній сфері України більше уваги приділяється енергозбереженню, тоді як в розвинених країнах світу оперують поняттям більш комплексного виміру – «енергоефективність». Гительман Л.Д. вважає, що стратегічний орієнтир постійного розвитку енергетики в сучасних умовах – оптимізована комплексно збалансована система чотирьох «Е»: енергетика, економіка, енергоефективність, екологічна сумісність [3].



Вже протягом багатьох років у Європі, країнах Скандинавії використовують енергозберігаючі технології при будівництві та реконструкції будівель зазначає Ульяна Громова [4]. У цих країнах створили необхідні законодавчі норми з урахуванням економічних інтересів власників житла та інвесторів. Підвищення рівня енергоефективності домагаються за допомогою застосування ефективної теплоізоляції, установки теплонасосів, сучасних віконних рам і дверей, недопускати витоку теплого повітря, використання котельних установок з високим ККД і приладів поквартирного регулювання температури.

Політику енергоефективності провідних країн світу спрямовано на впровадження енергозберігаючих заходів через функціонування державно-приватного партнерства з обов'язковою участю власників будинків і підприємств до заходів енергозбереження. Енергоефективна політика країн-лідерів енергозбереження базується на трьох основних принципах:

1. стимулювання до заощадження енергії (передбачає використання інструментів фінансової, технічної, інформаційної допомоги держави підприємствам, бюджетним установам, громадянам для проведення енергозберігаючих заходів);

2. примус до енергозбереження (реалізується шляхом прийняття відповідних законодавчих актів та постанов, програм у сфері енергозбереження, які фіксують норми споживання та ініціюють впровадження енергозберігаючих заходів);

3. просвітницькі програми у сфері енергозбереження (покликані сформулювати нову споживчу культуру серед населення, яка базується на принципах заощадження енергії. Органи державної влади та неурядові організації країн-лідерів у сфері енергозбереження на регулярній основі проводять семінари, тренінги, освітні програми, покликані змінити культуру енергоспоживання у бік заощадження) [3].

Одним з останніх нововведень в області енергозбереження в Європі є створення європейської комісією «Енергетичного союзу». Головне завдання даного союзу - об'єднання держав-членів ЄС у вирішенні проблем енергоефективності та енергозбереження і забезпечення основних споживачів енергоресурсів в ЄС - домогосподарств і підприємств, доступною і безпечною енергією. В окремих країнах ЄС реалізується одночасно до 38 заходів в житловому секторі, а в середньому в одній країні близько 10 заходів.

Досвід європейських країн свідчить, що реалізація державної політики енергоефективності та енергозбереження в сучасних умовах здійснюється в тому числі за рахунок змін у методах і способах управління. На думку Більовського М. О., впровадження політики енергоефективності вимагає змін на рівні управлінських рішень шляхом впровадження систем енергетичного



менеджменту відповідно до стандарту ISO 50001 «Системи енергетичного менеджменту – вимоги та настанови щодо застосовування» [5].

Світовим лідером з енергетичної ефективності економіки вважається Німеччина, що постійно знаходить нові виклики для зменшення споживання енергоресурсів. На реконструкцію будинків з метою зниження енергоспоживання було витрачено понад 1,5 млрд євро. Власникам житла, які бажають провести реконструкцію будинку, надаються податкові пільги в розмірі 20% і банківські кредити з низькою процентною ставкою. Більше третини всього обсягу електроенергії отримують від вітроустановок. Інвестори одержують можливість розташувати на дахах будівель сонячні батареї і подавати отриману енергію в міську мережу [6].

В Австрії почало працювати підприємство з виробництва біогазу. В Франції в 2005 році для сімей, які бажають використовувати технології економії термічної енергії у власній оселі, ввели в дію програму податкових пільг. При модернізації житла їм надається кредит, право на відшкодування до 50% витрат по встановленню систем терморегуляції, модернізації опалення та використання альтернативних джерел енергії: біопаливо, енергія сонця і вітру.

В Швеції за останні кілька десятиліть вдалося істотно знизити залежність від викопного палива, планується припинити його спалювання для виробництва електроенергії до 2040 року. У 2016 р. почала надавати державні гранти, які компенсують 60% вартості домашніх систем зберігання енергії. Максимальний розмір субсидії - 50 тис. крон або 5,6 тис. дол. США. Субсидія поширюється на батареї, проводку, системи управління, смарт-концентратор енергії і монтажні роботи для будинків з сонячними системами на даху.

В Японії енергозберігаюча політика отримала початок з 1973 року. Вживаються заходи щодо зниження енергоємності будинків, удосконалення конструкцій будівель для зниження витрат на опалення і кондиціонування. Велика увага приділяється навчанню громадян у збереженні енергії в побуті: часткова відмова від телевізійних пультів, від нічного підігрівання води для економії часу на приготування сніданку вранці, тимчасове відключення кондиціонерів влітку. Проведений досвід на 200 сім'ях дав економію енергії в 14,2% від звичайного споживання енергії. Особлива увага приділяється розвитку геліоенергетики. Установка сонячних батарей на третину оплачується урядом.

Висновки. Отже, головними критеріями ефективної енергетичної стратегії й енергетичної політики у світі, Європейському Союзі та в Україні повинні бути надійність і безпека енергопостачання, екологічна ефективність та рентабельність. Державна політика має стати одним з основних чинників сталого соціально-економічного розвитку країни в довгостроковій перспективі.



ЛІТЕРАТУРА

1. Болтянська Н.І. - Дослідження системи факторів в розвитку концепції енергозбереження агропромислового комплексу. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали I Міжнародної наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01- 24 квітня 2020 р.)*. URL: [http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/2020%20453-457%20\(1\).pdf](http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/2020%20453-457%20(1).pdf) (дата звернення: 12.04.2021).
2. Аналіз ефективності використання енергоресурсів у розвинених зарубіжних країнах і залежність від їх імпорту. URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/1.-Efektyvnist_energ_resursiv.pdf (дата звернення: 12.04.2021).
3. Гительман Л.Д. – Эффективная энергокомпания. Экономика. Менеджмент. Реформирование / Л.Д. Гительман, Б.Е. Ратников. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2002. – 544 с.
4. Досвід енергозбереження в різних країнах світу | Poultry Market. Poultry Market | Птахівництво України і світу | менеджмент, аналітика, реформи, стандарти. URL: <http://market.avianua.com/?p=4042> (дата звернення: 12.04.2021).
5. Більовський М. О. - Механізми реалізації державної політики енергоефективності та енергозбереження в різних країнах світу (2017). *Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського*. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNUCZUDU_2017_2_14 (дата звернення: 12.04.2021).
6. Енергозбереження в різних країнах, від кредитів на утеплення до пасивного будинку. – ППУ-утеплення Чернівці. *Теплоізоляція пінополіуританом - ППУ-Ізол Чернівці – ППУ-утеплення Чернівці*. URL: <https://www.ppu.cv.ua/enerhozberezhennia-v-riznykh-krainakh.html> (дата звернення: 12.04.2021).

УДК 004.891.2:659.1]:005.51

Павло ГАВРИШ,
провідний фахівець у сфері рекламного бізнесу,
рекламна агенція «LeadIn», м. Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНО- КЕРУЮЧИМИ СИСТЕМАМИ В РЕКЛАМНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

Сучасний розвиток суспільства характеризується стрімким зростанням обсягів інформації, цифровізацією управління та активним впровадженням



інформаційних технологій у сферу реклами. У цих умовах інформаційно-керуючі системи стають ключовим інструментом ефективної організації рекламної діяльності, що зумовлює необхідність оптимізації процесів їх управління. Українські дослідники зазначають, що впровадження таких систем забезпечує гнучкість, безпеку даних і стійкість до зовнішніх викликів, що є особливо актуальним в умовах воєнних дій і глобальних криз [1, с. 1467].

Оптимізація управління інформаційно-керуючими системами в рекламній діяльності передбачає комплексний підхід, що охоплює технічні, організаційні та людські аспекти. Її мета — забезпечити ефективне планування, реалізацію та контроль рекламних кампаній, швидкий доступ до маркетингової інформації та її обробку при мінімальних витратах ресурсів.

Ключовим напрямом є вдосконалення структури інформаційно-керуючих систем у рекламі, що включає раціональне проектування архітектури, модульність і інтеграцію різних підсистем (CRM, аналітичних платформ, рекламних кабінетів) в єдине інформаційне середовище. Це забезпечує гнучкість управління рекламними процесами та спрощує масштабування маркетингових активностей.

Важливим аспектом є автоматизація управління рекламною діяльністю, яка дозволяє зменшити вплив людського фактору, знизити кількість помилок і пришвидшити виконання операцій, таких як запуск рекламних кампаній, аналіз ефективності та оптимізація бюджету. Вона підвищує прозорість управління та забезпечує оперативне реагування на зміни ринку. За С. Ігнатенком і І. Томащуком, автоматизація та цифровізація управлінських процесів сприяють підвищенню точності обробки інформації та рівня її захисту [2].

Особливу роль в оптимізації відіграє управління даними у рекламній діяльності: ефективний збір, зберігання та аналіз даних про цільову аудиторію, поведінку споживачів і результати рекламних кампаній забезпечують прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Використання технологій Big Data, хмарних сервісів і аналітичних платформ дозволяє отримувати глибокі інсайти, підвищувати персоналізацію реклами та ефективність маркетингових стратегій.

Оптимізація бізнес-процесів у сфері реклами передбачає їх аналіз і реінжиніринг із метою усунення дублювання функцій, скорочення часу реалізації рекламних кампаній та підвищення якості комунікації з цільовою аудиторією.

Водночас важливим є забезпечення інформаційної безпеки рекламних систем, оскільки вони оперують значними обсягами персональних і комерційних даних. Необхідно враховувати ризики несанкціонованого доступу, втрати чи спотворення інформації. Сучасні підходи передбачають використання багаторівневої архітектури захисту на основі концепцій Zero Trust, мікросегментації та Defense in Depth [3].



Людський фактор відіграє вирішальну роль у функціонуванні інформаційно-керуючих систем у рекламній діяльності. Більшість кіберінцидентів і помилок у рекламних кампаніях пов'язані з некоректними діями персоналу або недостатнім рівнем цифрових компетентностей. Як зазначає П. Бурдяк, людський фактор є однією з ключових вразливостей сучасних систем кіберзахисту [4]. Тому важливим є підвищення кваліфікації працівників, розвиток їхніх цифрових і аналітичних навичок, а також формування культури ефективного використання інформаційних ресурсів у рекламній сфері.

Суттєвим напрямом оптимізації є впровадження інтелектуальних технологій у рекламну діяльність, зокрема штучного інтелекту та машинного навчання. Вони дозволяють автоматизувати таргетинг, прогнозувати поведінку споживачів, оптимізувати рекламні бюджети та підвищувати ефективність комунікацій. Використання таких технологій відкриває нові можливості для розвитку інформаційно-керуючих систем і сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств [5].

У контексті сучасних викликів, таких як глобалізація, зростання конкуренції на рекламному ринку, кіберзагрози та швидкі технологічні зміни, оптимізація процесів управління інформаційно-керуючими системами набуває особливого значення. Вона дозволяє рекламним організаціям адаптуватися до динамічного середовища, підвищувати ефективність діяльності та забезпечувати конкурентні переваги.

Отже, оптимізація процесів управління інформаційно-керуючими системами в рекламній діяльності є багатограним процесом, що потребує системного підходу та врахування технічних, організаційних і людських факторів. Її реалізація сприяє підвищенню ефективності рекламних кампаній, якості управлінських рішень і раціональному використанню ресурсів.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці інноваційних методів оптимізації рекламних процесів, інтеграції штучного інтелекту та вдосконаленні підходів до управління інформаційно-керуючими системами з урахуванням тенденцій цифрового маркетингу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шевченко, Д. & Лобач, О. Створення інформаційно-управляючої системи для контролю процесу розробки в умовах дистанційної роботи та надзвичайних ситуацій. [Електронний ресурс] / Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доп.33-ї міжнарод.наук.-практ. конф. MicroCAD -2025, 14-17 травня. Харків: НТУ «ХПІ», 2025. <https://repositorykpi.kharkiv.ua/handle/KhPI-Press/95014>



2. Ігнатенко, С., & Томащук, І. (2024). Сучасні тенденції автоматизації та цифровізації управлінського обліку в аграрних підприємствах: економічний аспект. Економічний простір, (191), 456-472. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/192-3>

3. Цехмейстер, Р., Платоненко, А., Воробох, М., Черевик, В. & Світлана, С. (2025). Дослідження методів забезпечення інформаційної безпеки у віртуальному середовищі. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 3(27), 63-71. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.27.703>

4. Бурдяк, П. (2025). Людський фактор в кібербезпеці: кіберосвіта як системна відповідь на зростаючі загрози в цифровому просторі України та ЄС. Медіафорум: аналітика, прогнози, інформаційний менеджмент, 17, 328-346. <https://doi.org/10.31861/mediaforum.2025.17.328-346>

5. Смоляк, Ю., & Холодницька, А. Штучний інтелект в управлінні підприємством: трансформація ролі менеджера в індустрії 4.0. Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління. № 11. 2024. <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2024-11-04-12>

УДК 620.18:004.9

Ярослав ГРИГОРЕНКО

аспірант,

Херсонський національний технічний університет, Україна

Дмитро ДМИТРІЄВ

доктор технічних наук, професор,

Херсонський національний технічний університет, Україна

СМАРТИЗАЦІЯ ПІДГОТОВКИ І ПОСТОБРОБКИ 3D-ДРУКУ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ

У технологіях пошарового утворення металевих виробів точність, надійність і стабільність характеристик значною мірою залежать не лише від параметрів процесу друку, а й від якості підготовки та постобробки. Ці етапи формують мікроструктуру, впливають на залишкові напруження, пористість, твердість і шорсткість поверхні. У сучасних умовах розвитку адитивного виробництва актуальним завданням стає смартизація підготовчих і завершальних процедур із застосуванням інтелектуальних технологій для



підвищення якості готових виробів та забезпечення відтворюваності результатів.

Етап підготовки охоплює перевірку властивостей порошку, підбір параметрів нанесення шару, калібрування траєкторії лазера і моделювання теплових процесів. Якість вихідного порошку безпосередньо впливає на стабільність процесу плавлення. Важливими є морфологія частинок, гранулометричний розподіл, вологість і ступінь окиснення. Для автоматизованого аналізу застосовуються системи комп'ютерного зору — ImageJ, OpenCV, NEXSYS GSAT, які дозволяють оцінювати форму та розмір зерен, визначати відсоток агломератів, що погіршують рівномірність розподілу шару. Алгоритми штучного інтелекту аналізують статистичні вибірки мікрофотографій порошку та класифікують фракції за придатністю до друку. У роботах [1, 2] показано, що впровадження автоматизованого контролю порошку знижує кількість пор у готових деталях на 15–25 % порівняно з ручною оцінкою.

Додатковим аспектом смартизації підготовки є створення цифрових двійників процесу друку. Моделі, побудовані у середовищах Simufact Additive чи ANSYS AM, дають змогу прогнозувати теплові поля, усадку та деформації. На основі цих даних система оптимізує параметри лазера — потужність, швидкість, крок перекриття траєкторій — для запобігання утворенню внутрішніх напружень. Таким чином, інтелектуальні алгоритми ще на етапі планування знижують ймовірність дефектів, що проявляються після друку або під час термообробки.

Після завершення процесу побудови виробу відбувається серія постпроцедур, мета яких — усунути технологічні дефекти та забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики. Найважливішими з них є термообробка, гаряче ізостатичне пресування (HIP), механічна фінішна обробка та контроль якості. Смартизація постобробки полягає у використанні сенсорних систем і аналітики даних для автоматичного керування режимами обробки. Наприклад, температурні датчики та камери інфрачервоного спектру фіксують профіль нагріву виробу в печі, а програма коригує параметри у реальному часі для запобігання перегріву чи недогріву. Такий підхід, за даними досліджень [3], дозволяє скоротити тривалість циклу термообробки на 18 % і підвищити щільність структури металу на 2–3 %.



Важливою складовою смарт-постобробки є роботизовані системи механічного полірування та шліфування. Використання машинного зору дає змогу автоматично оцінювати шорсткість поверхні та регулювати зусилля контакту інструмента. Роботизовані комплекси KUKA LBR iiwa та Fanuc CRX забезпечують стабільне значення параметра Ra менше ніж 3 мкм без участі оператора. Додатково використовуються методи неруйнівного контролю (ультразвуковий, лазерний, рентгенівський), дані з яких обробляються алгоритмами машинного навчання для виявлення внутрішніх дефектів і формування цифрового паспорта виробу [4].



Рис. 1 — Роботизована система полірування після 3D-друку (KUKA LBR iiwa).

Смартизація підготовки та постобробки утворює замкнений контур, у якому інформація про параметри порошку, процес друку й результати термообробки передається до єдиної бази даних. Система аналізує накопичені дані та формує рекомендації для наступних циклів друку. Таким чином, виробництво набуває властивостей самонавчальної системи: кожен виріб, пройшовши повний цикл «підготовка — друк — постобробка», підвищує точність прогнозів і зменшує ризик повторення дефектів. Такий підхід відповідає концепції «Індустрії 4.0» і забезпечує перехід до автоматизованого управління якістю металевих виробів.



Отже, смартизація підготовчих і завершальних етапів 3D-друку дозволяє істотно підвищити рівень контролю якості, скоротити тривалість технологічного циклу та зменшити кількість відмов. Використання цифрових двійників, сенсорних систем і алгоритмів машинного навчання перетворює традиційне виробництво на інтелектуальну систему, де контроль якості відбувається безперервно, а параметри процесу автоматично адаптуються під задані критерії. Це створює основу для подальшого розвитку інтелектуальних технологій визначення характеристик якості металевих виробів у процесах пошарового утворення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yesiwas T. A., Tiruneh A. B., Sisay M. A. A review article on the assessment of additive manufacturing // *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*. – 2025. – Vol. 7, No. 1. – P. 306. – URL: <https://jmsg.springeropen.com/articles/10.1186/s40712-025-00306-8>
2. Gao B. A review of research progress in selective laser melting (SLM) // *Metals*. – 2022. – Vol. 12, No. 1. – Article 9861605. – URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9861605/>
3. Ben Amor S., Brissaud D., Rivette M. Digital twin implementation in additive manufacturing: a comprehensive review // *Processes*. – 2024. – Vol. 12, No. 6. – P. 1062. – URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/12/6/1062>
4. Hashmi A. W., Mali H. S., Meena A., Puerta A. P. V., Kunkel M. E. Surface characteristics improvement methods for metal additively manufactured parts: a review // *Materials and Manufacturing Processes*. – 2022. – Vol. 37, No. 8. – P. 917-934. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/2374068X.2022.2077535>

УДК 667.64:678.026

Валерій ДЕМЧЕНКО,

д-р хім. наук, ст.досл.,

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ

Анна САПРОНОВА,

PhD,

Херсонська державна морська академія, м. Херсон



ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ БАНДАЖНИХ ВИРОБІВ ПРИ РЕМОНТІ ТРУБОПРОВІДІВ ГАЗО-НАФТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Трубопроводи газо-нафтотранспортного комплексу експлуатуються в умовах дії внутрішнього тиску до 5–10 МПа, температурних коливань у межах 233–393 К та агресивних середовищ, що спричиняє інтенсивний розвиток корозійних процесів і накопичення дефектів. У таких умовах застосування бандажних виробів із полімерним заповненням є ефективним способом відновлення працездатності трубопроводів без зупинки їх експлуатації. Таким чином вагому роль у забезпеченні надійності при відновленні ділянок трубопроводів з використанням бандажів відіграють полімерні композитні матеріали. При цьому ключовими функціями, які виконує полімер у складі бандажного виробу є передача навантаження, герметизація трубопровідної системи та антикорозійний захист. У цьому плані найбільш доцільним є застосування епоксидних композицій, які характеризуються високими фізико-механічними властивостями, зокрема: модуль пружності становить 8–15 ГПа, міцність при стиску – 80–150 МПа, адгезійна міцність до сталевих поверхонь – 25–40 МПа. Такі характеристики забезпечують ефективну спільну роботу системи «труба–бандаж» та зниження концентрації напружень у зоні дефекту.

Згідно з результатами досліджень [1], використання функціональних полімерних нанокompозитів дозволяє підвищити антикорозійні властивості матеріалів у 1,5–2,0 рази та зменшити швидкість зношування до 40%. Введення вуглецевих наночастинок за вмісту 0,5–1,0 % дозволяє підвищити міцність композиту на 25–40%, модуль пружності – до 20%, а також суттєво збільшити тріщиностійкість. Додатково спостерігали підвищення значення адгезійної міцності [2] при введенні наночастинок, що є важливим для довготривалої експлуатації бандажних конструкцій. Використання таких добавок дозволяє створювати бар'єрну структуру та підвищувати щільність полімерів. Такі матеріали є ефективними для застосування в умовах підвищеної вологості та агресивних середовищ. Перспективним напрямом є розроблення термостійких полімерів, здатних працювати при температурах до 423–473 К без зміни своїх властивостей. Це особливо важливо для трубопроводів, що транспортують нагріті середовища або експлуатуються в складних кліматичних умовах.

Таким чином можна констатувати, що застосування полімерних композицій у бандажних конструкціях дозволяє забезпечити ефективний перерозподіл напружень, зменшити їх концентрацію в зоні дефекту до 20–30% та підвищити загальну несучу здатність трубопровідної системи.



Роботу виконано за фінансової підтримки гранту Національного фонду досліджень України («Підвищення надійності обладнання газо-нафтотранспортного комплексу шляхом впровадження алгоритмів діагностування їх технічного стану та застосування новітніх полімерних матеріалів». Реєстраційний номер проєкту 2025.07/0008).

ЛІТЕРАТУРА

[1] Abdelkader Hocine, Fouad Sodki Kara Achira, Ghania Habbar, Aydin Levent, et al. Structural integrity assessment of corroded pipelines repaired with composite materials – Literature review. International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2024. 210. 105253. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2024.105253>.

[2] Сапронов О.О., Рожков О.С., Лещенко О.В., Голотенко О.С. Дослідження адгезійних і фізико-механічних властивостей епоксикомпозитів, наповнених нанотрубками. Науковий вісник ХДМА. 2014. 2(11). 197-202. <https://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/450/602>

УДК 620.91; 621.315

Наталія ДОН

*кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна*

ORCID: 0000-0001-9503-5326

Ірина ПОГРЕБНЯК

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна*

ORCID: 0000-0003-0935-1168

Дмитро СТЕПАНЧИКОВ

*кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна*

ORCID: 0000-0001-5027-2213



АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ У ПОВОЄННОМУ ВІДНОВЛЕННІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ХЕРСОНЩИНИ

Електроенергетична система є ключовою складовою інфраструктури України, що забезпечує безперервне виробництво, передачу та розподіл електроенергії. Стан енергосистеми характеризується складністю, залежністю від багатьох факторів та високими вимогами до безпеки та надійності функціонування [1].

Дослідження питань енергетичної безпеки України в умовах повномасштабної війни та перспектив відновлення електроенергетичної галузі є, безумовно, актуальними. Зокрема, необхідність відновлення енергосистеми та її децентралізації, забезпечення стабільного енергопостачання, підвищення енергоефективності та перехід до відновлюваної енергетики є стратегічними напрямками, що допоможуть досягти енергетичної незалежності та стійкості енергосистеми України [1, 2].

Для Херсонщини, на території якої досі тривають активні бойові дії, питання повоєнного відновлення електроенергетичної системи є надважливим та вимагає пошуку методів забезпечення її стійкості.

Одним із ключових етапів у повоєнному відновленні Херсонщини має бути комплекс заходів щодо визначення обсягів руйнування критичної інфраструктури, що суттєво вплинули на об'єкти електроенергетики.

До початку повномасштабного вторгнення невід'ємною складовою частиною проблеми стійкості енергосистеми Херсонщини було забезпечення ефективної модернізації всього комплексу енергоустаткування через фізичне та моральне старіння обладнання електромереж; значна частка обладнання трансформаторних підстанцій та електричних мереж (як магістральних, так і розподільних) відпрацювали понаднормативний термін – більше 25 років.

Сьогодні, в умовах активних бойових дій на правобережжі Херсонщини енергетики оперативно відновлюють електричні мережі та обладнання трансформаторних підстанцій, застосовуючи наявне резервне устаткування, надане в рамках міжнародної допомоги.

З іншого боку, обов'язковою частиною робіт з проєктування та експлуатації енергосистеми є розрахунки стійкості енергосистеми та розрахункова перевірка заходів щодо її забезпечення. Відповідно, оперативне відновлення пошкодженого устаткування електроенергетичних об'єктів є критично нестабільним та непрогнозованим станом для режиму роботи енергосистеми через відсутність зазначених розрахунків та перевірок згідно вимог [3].



Наприклад, схема електричних з'єднань трансформаторної підстанції є основним елементом, що встановлює всі технічні властивості, характеристику трансформаторної підстанції в цілому. Головна схема електричних з'єднань повинна мати високу експлуатаційну надійність, побудова схеми підстанції та прилеглої електричної мережі повинна забезпечувати нормальне електропостачання споживачів при ушкодженні на будь-якій ділянці електричної мережі [3].

Зрозуміло, що оперативне відновлення пошкоджених електричних мереж та обладнання трансформаторних підстанцій не означає оперативного внесення змін до головних схем електричних з'єднань, і тим паче оперативного проведення розрахунку режимів роботи електричних мереж у нормальному та аварійному режимі роботи.

Саме тому в рамках повоєнного відновлення необхідно насамперед провести оцінку та повну інвентаризацію пошкоджених (чи знищених) електростанцій, трансформаторних підстанцій, магістральних та розподільних електричних мереж з метою забезпечення технічної точності оцінки та контролю за дотриманням вимог безпеки під час подальших ремонтів.

В Херсонському національному технічному університеті на кафедрі енергетики, електротехніки і фізики здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти за спеціальністю G3. Електрична інженерія (141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) [4].

З огляду на нагальність потреби трансформації процесів підготовки кадрів з урахуванням умов сьогодення та викликів щодо повоєнного відновлення електричних мереж Херсонщини, є доцільним вже зараз задіяти до зазначених розрахунків здобувачів освіти та науково-педагогічних працівників кафедри в рамках співробітництва з ПАТ «Херсонобленерго».

Відповідно є сподівання, що саме випускники спеціальності G3. Електрична інженерія (141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) Херсонського національного технічного університету прийматимуть активну участь у повоєнному відновленні енергосистеми Херсонщини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коваленко Ю., Лазаренко Д., Марченко О. Енергетична безпека країни під час війни: Бар'єри та перспективи подолання. Вісник Хмельницького національного університету. 2024 № 1. С. 262-266. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-326-41>.
2. Лісовий, А., Андрух, О. (2025). Енергетична безпека України: виклики війни та перспективи відновлення економічного потенціалу.



Український економічний часопис, (8), 40–43.
URL: <https://doi.org/10.32782/2786-8273/2025-8-7>.

3. Про затвердження Тимчасового порядку дій операторів систем розподілу з відновлення електропостачання населених пунктів, знеструмлених через пошкодження об'єктів електричних мереж або їх складових внаслідок бойових дій, у період дії в Україні воєнного стану | Постанова НКРЕКП від 20.04.2022 № 386. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0386874-22#Text>.

4. G3 Електрична інженерія (Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Перелік спеціальностей / Херсонський національний технічний університет // URL: <https://kntu.net.ua/Perelik-special-nostej/G3-141-Elektrichna-inzheneriya-Elektroenergetika-elektrotehnika-ta-elektromehanika>.

УДК 621.313:629.5:62-192

Галина ДОЩЕНКО

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри експлуатації суднового
електрообладнання і засобів автоматики*

Херсонська державна морська академія, м. Одеса

Дмитро НАГОВСЬКИЙ

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри експлуатації суднового
електрообладнання і засобів автоматики*

Херсонська державна морська академія, м. Одеса

СИСТЕМНИЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Вступ. Безперервне ускладнення суднових технічних засобів при незмінній надійності комплектуючих елементів, вузлів та виробів неминує веде до зниження надійності суднових систем, пристроїв та суден загалом. Вихід з ладу основного обладнання через специфічні умови експлуатації суден створює аварійну обстановку, інколи ж викликає аварії з тяжкими наслідками, включаючи людські жертви. Морські транспортні судна тривалий час знаходяться далеко від берегових баз і не можуть розраховувати на своєчасну допомогу судноремонтних підприємств. Тому при недостатньому рівні надійності суднового обладнання для забезпечення безперервного працездатного стану судна передбачають резервування (дублювання) агрегатів, що ще більше ускладнює установку.

Безперервне збільшення кількості суден, їх розмірів та швидкості веде до зростання інтенсивності руху та вимагає підвищення безпеки плавання, що



значною мірою залежить від надійності всіх суднових технічних засобів. У цьому вся складаються технічні передумови виникнення проблеми надійності.

Важливість проблеми підвищення надійності також підтверджується економічними міркуваннями. Недостатній рівень надійності - це додаткові витрати, спричинені аваріями та простоями суден, зниженням їх швидкості та збільшенням часу вантажних операцій, а також додаткові витрати на ремонт та ТО обладнання. Збільшення міжремонтного періоду суден, скорочення чисельності суднових екіпажів (без збільшення напруженості праці) неможливо успішно реалізувати без істотного підвищення надійності всіх технічних засобів. У цьому складаються економічні причини проблеми надійності.

Таким чином, проблема забезпечення необхідного рівня надійності суднового обладнання належить до проблем першорядної важливості.

Виклад основного матеріалу. Показники надійності суднових електродвигунів (СЕД) є комплексом технічних характеристик, що визначають здатність машин безперебійно виконувати свої функції в специфічних умовах морської експлуатації (вібрація, вологість, качка, перепади температур) [1].

Основні показники надійності можна поділити на такі групи:

1. Показники безвідмовності (здатність працювати без поломок)

- Середнє напрацювання до відмови (T_{cp}): Середній час роботи електродвигуна між двома послідовними відмовами. Для відповідальних суднових механізмів цей показник має бути максимально високим.

- Інтенсивність відмов (λ): Ймовірність відмови за одиницю часу. Аналіз показує, що найбільша інтенсивність відмов характерна для ізоляції обмоток та підшипникових вузлів.

- Можливість безвідмовної роботи ($P(t)$): Імовірність того, що в заданому інтервалі часу не станеться відмова.

2. Показники довговічності (термін служби)

- Призначений термін служби: Час, після якого експлуатація повинна бути припинена незалежно від стану. Для електродвигунів з урахуванням регламентних робіт і капітальних ремонтів термін служби, що призначається, становить не менше 40 років, із заміною ізоляції через 20 років.

- Ресурс до капітального ремонту Напрацювання до проведення капітального ремонту.

3. Показники ремонтпридатності (зручність ремонту)

- Середній час відновлення (T_B): Середній час, що витрачається на усунення відмови (ремонт, заміну вузла).

- Трудомісткість технічного обслуговування (TO): Витрати праці на проведення планових оглядів та ремонтів. Для допоміжних двигунів може досягати високих значень (наприклад, близько 30-40 осіб на 1000 годин роботи).



4. Експлуатаційні показники

- Коефіцієнт технічного використання ($K_{ТВ}$): Відношення часу роботи у справному стані до всього часу експлуатації.

- Коефіцієнт готовності (K_G): Імовірність того, що двигун виявиться працездатним у довільний момент часу.

Специфічні фактори, що впливають на надійність суднового електрообладнання (СЕО):

- Якість ізоляції (клас нагрівостійкості) - найбільш вразливий елемент при високій вологості та солоності повітря.

- Стан підшипників – віброактивність на судні прискорює зношування.

- Зовнішні умови (температура, крен, диферент).

Оцінка надійності часто проводиться на основі даних моніторингу експлуатаційних параметрів, таких як вібрація, температура обмоток та підшипників, опір ізоляції.

Раптова відмова та втрата працездатності практично будь-якого суднового електроприводу супроводжується зниженням експлуатаційних характеристик судна, підвищує ймовірність виникнення технічних, екологічних та навігаційних подій [2]. У переважній більшості випадків (85...95%) відмови відбуваються через ушкодження обмотки; 2...5% електродвигунів відмовляють через пошкодження підшипників.

Близько 35% відмов спостерігається через недостатньо хорошу якість виготовлення електродвигунів. Для електродвигунів відзначається незадовільна якість застосовуваних матеріалів (особливо електроізоляційних, обмотувальних проводів та просочувальних лаків). Основною причиною відмов є недоліки експлуатації (переважно незадовільний захист). З цієї причини відбувається близько 50% відмов.

З погляду надійності, обмотку асинхронних двигунів можна розглядати як систему, що складається із послідовно з'єднаних елементів. Такими елементами є пари сусідніх провідників, композиція пазової ізоляції та композиція міжфазної ізоляції у лобових частинах обмотки. При двошаровій обмотці має бути також враховано надійність ізоляції між секціями. Оскільки відмова будь-якого перерахованого елемента призводить до відмови всієї системи (обмотки), то надійність обмотки (імовірність безвідмовної роботи) може бути визначена згідно з теоремою множення ймовірностей за формулою [3]:

$$P_{\text{св}}\{t\} = \prod_{i=1}^n P_{\alpha}\{t\} \prod_{\Pi=1}^z P_{\Pi}\{t\} \prod_{M=1}^m P_M\{t\} \prod_{c=1}^z P_c\{t\}$$



де – $P_{ei} \{t\}$ надійність міжвиткової ізоляції пари провідників; $P_{\Pi} \{t\}$ - надійність композиції пазової ізоляції в одному пазу; $P_M \{t\}$ - надійність композиції міжфазної ізоляції в лобовій частині обмотки (однієї міжфазної прокладки); $P_C \{t\}$ - надійність композиції міжсекційної ізоляції в пазу (при двошаровій обмотці).

В цій формулі у повному обсязі співмножники рівноцінні. Найменше значення має перший співмножник $\prod_{i=1}^n P_{vi} \{t\}$ що в основному і визначає надійність обмотки. Це обумовлено двома факторами: відносно низькою міжвитковою надійністю ізоляції та значною кількістю пар провідників в асинхронних двигунах ($n = 102 \dots 103$). Надійність композиції пазової міжфазної та міжсекційної ізоляцій досить висока.

Ця теорія підтверджується матеріалами вивчення досвіду експлуатації асинхронних двигунів. Відмови щодо характеру пошкодження обмоток розподіляються наступним чином: міжвиткові замикання – 93%, пошкодження та пробої пазової ізоляції 2%, пробої міжфазної ізоляції – 5%.

Іноді відмови відбуваються внаслідок зачеплення ротора об статор через значну нерівномірності повітряного зазору, що призводить до неприпустимих місцевих перегрів обмоток та виткових замикань.

Характерними ушкодженнями для обмотки ротора асинхронних короткозамкнених двигунів є тріщини та обриви стрижнів обмотки ротора в місці їх входу в короткозамикаючі кільця. Обриви стрижнів свідчать про значні динамічні сили, що діють на ротор при пусках та перемиканнях частоти обертання [4].

Висновки. Практична значущість роботи полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані для вдосконалення систем діагностики стану суднових електродвигунів, впровадження методів прогнозування відмов (predictive maintenance) та підвищення ефективності технічного обслуговування та зниження експлуатаційних витрат.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку математичних моделей деградації ізоляції, а також інтеграцію сучасних методів моніторингу (вібраційного, теплового, електричного) в єдині системи діагностики суднового електрообладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Austin Hughes, Bill Drury *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications*, 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2019. DOI: 10.1016/C2018-0-03899-8
2. Carrión-Jaura, Rubén & Díaz Sinche, Diego Vinicio & Castillo-Calderón, Jairo & Caraguay-Correa, Christian. (2024). Practical Approach to the Application of



IEEE Standard 43-2013 in the Assessment of the Insulation of Rotating Machines. 10.1007/978-3-031-70981-4_58.

3. Gundewar S.K., Kane P.V. “Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Induction Motor,” *Journal of Vibration Engineering and Technologies*, 2021. DOI: 10.1007/s42417-020-00253-y

4. Chikkam S., Singh S. “High-resolution-based electrical fault diagnosis of induction motor...,” *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2022. DOI: 10.1007/s13369-022-06623-w Doorsamy, W. Condition Monitoring of Electric Machines: Modern Frameworks and Data-Driven Methodologies. *Machines* 2025, 13, 144. <https://doi.org/10.3390/machines13020144>

УДК 626:624.012.4

Роман КОВАЛЕНКО

к.т.н., доцент,

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон

ЗАСТОСУВАННЯ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Вступ. В умовах зростання масштабів пошкодження інженерної інфраструктури України особливої актуальності набуває відновлення гідротехнічних об'єктів, оскільки їх технічний стан безпосередньо впливає на безпеку територій, стабільність функціонування водогосподарських систем, надійність водопостачання, водовідведення, регулювання стоку та захисту від шкідливої дії вод. Пошкодження таких споруд супроводжується технічними й екологічними наслідками, ускладнює раціональне використання водних ресурсів і знижує ефективність суміжної інженерної інфраструктури.

За таких умов зростає потреба у застосуванні сучасних будівельних матеріалів, здатних забезпечити належні експлуатаційні характеристики відновлюваних конструкцій. Одним із них є сталеві фібробетон, який порівняно зі звичайним бетоном характеризується вищими показниками тріщиностійкості, зносостійкості, ударної в'язкості та надійності окремих конструктивних елементів. Це зумовлює доцільність його розгляду як матеріалу для виконання ремонтно-відновлювальних робіт на пошкоджених гідротехнічних об'єктах.

Водночас застосування сталеві фібробетону в гідротехнічному будівництві потребує обґрунтованої оцінки, оскільки його ефективність визначається фізико-механічними властивостями, конструктивними особливостями споруди, характером пошкоджень, умовами виконання робіт і подальшої експлуатації. У зв'язку з цим актуальним є аналіз можливостей використання сталеві фібробетону



при відновленні пошкоджених гідротехнічних об'єктів і визначення доцільних напрямів його практичного застосування.

Мета дослідження — обґрунтувати доцільність застосування сталевібробетону при відновленні пошкоджених гідротехнічних об'єктів та визначити сфери його найбільш ефективного використання у ремонтно-відновлювальних роботах.

Завдання дослідження полягають у аналізі основних властивостей сталевібробетону як сучасного будівельного матеріалу, визначенні особливостей його застосування при відновленні пошкоджених гідротехнічних об'єктів, характеристики переваг і обмежень використання в ремонтно-відновлювальних роботах, а також встановленні найбільш доцільних напрямів застосування у відновленні окремих конструктивних елементів гідротехнічних споруд.

Основний матеріал. Пошкодження гідротехнічних об'єктів унаслідок воєнних дій створює суттєві ризики для функціонування водогосподарської та інженерної інфраструктури України. Руйнування окремих конструктивних елементів таких споруд може спричинити порушення роботи систем водопостачання, водовідведення, зрошення, регулювання стоку та захисту територій від шкідливої дії вод. У зв'язку з цим актуалізується питання застосування сучасних матеріалів для виконання ремонтно-відновлювальних робіт на пошкоджених гідротехнічних об'єктах. На рис. 1 наведено приклад пошкодження гідротехнічної споруди внаслідок воєнних дій.

Одним із матеріалів, що може бути використаний у відновлювальних роботах, є сталевібробетон. Це різновид бетону, армованого сталевими фібрами, які забезпечують дисперсне армування та впливають на роботу матеріалу під навантаженням. Введення сталевих фібри в бетонну матрицю сприяє підвищенню тріщиностійкості, ударної в'язкості, зносостійкості та міцності на розтяг при згині, що є важливим для конструкцій, які працюють в умовах локальних пошкоджень і змінних навантажень.



Рис. 1 – Приклад пошкодження гідротехнічної споруди внаслідок воєнних дій (Карачунівське водосховище)

Для гідротехнічних об'єктів зазначені властивості мають особливе значення, оскільки окремі елементи споруд експлуатуються в умовах підвищеної вологості, дії водного потоку, абразивного зношування, циклічних навантажень та інших несприятливих факторів. За таких умов застосування сталевібробетону може підвищити довговічність конструктивних елементів і їх експлуатаційну надійність. На рис. 2 показано загальний вигляд сталевібробетону як матеріалу, що може застосовуватися у відновлювальних роботах.



Рис. 2 – Зовнішній вигляд сталевібробетону / структура сталевібробетону зі сталевібробетоном



Найбільш доцільним є застосування сталевібробетону при відновленні окремих елементів гідротехнічних споруд, зокрема захисних і ремонтних шарів, облицювань, плит, а також ділянок, що працюють в умовах підвищеного зношування та ризику тріщиноутворення. Це зумовлено здатністю матеріалу ефективніше сприймати локальні пошкодження та обмежувати розвиток тріщин у процесі експлуатації.

Водночас сталевібробетон не слід розглядати як універсальне рішення для повної відбудови всіх елементів великого гідротехнічного комплексу. Для масивних споруд визначальне значення мають не лише фізико-механічні характеристики матеріалу, а й технологія укладання, особливості армування, умови тверднення, робота конструкції в масиві та вимоги до довготривалої надійності. Тому його доцільно розглядати насамперед у межах локального підсилення та ремонтно-відновлювальних заходів.

Перевагами сталевібробетону в контексті відновлення пошкоджених гідротехнічних об'єктів є зниження інтенсивності тріщиноутворення, підвищення опору локальним механічним пошкодженням, покращення зносостійкості та підвищення довговічності окремих конструктивних елементів. Водночас ефективне застосування цього матеріалу потребує обґрунтованого підбору складу бетонної суміші, рівномірного розподілу фібри та дотримання технологічних вимог під час приготування й укладання. Таким чином, доцільність використання сталевібробетону визначається призначенням відновлюваного елемента, характером пошкодження та умовами подальшої експлуатації.

Висновки. Проведений аналіз засвідчив, що сталевібробетон за сукупністю фізико-механічних характеристик може розглядатися як доцільний матеріал для відновлення пошкоджених гідротехнічних об'єктів. Його застосування є обґрунтованим у випадках, коли до відновлюваних конструктивних елементів висувуються підвищені вимоги щодо тріщиностійкості, зносостійкості, ударної в'язкості та експлуатаційної надійності.

Встановлено, що найбільш раціональним є використання сталевібробетону у ремонтно-відновлювальних роботах на окремих елементах гідротехнічних споруд, зокрема в захисних шарах, облицюваннях, плитах та інших конструкціях, що працюють в умовах інтенсивного зношування, локальних пошкоджень і змінних навантажень. Водночас його застосування не слід розглядати як універсальне рішення для повної відбудови всіх гідротехнічних об'єктів, оскільки ефективність матеріалу визначається конструктивною схемою споруди, характером пошкоджень, технологічними умовами виконання робіт та експлуатаційними вимогами.



Таким чином, сталевібробетон доцільно розглядати як один із сучасних матеріалів для відновлення пошкоджених гідротехнічних об'єктів, насамперед у межах локального підсилення та відновлення окремих конструктивних елементів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на уточнення технологічних параметрів його застосування та визначення умов найбільш ефективного використання у практиці відновлення гідротехнічної інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Liu Y.-W., Chen H.-L., Lin C.-H. et al. Abrasion behavior of steel-fiber-reinforced concrete in hydraulic structures. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, No. 16. P. 5562.
2. ACI Committee 544. *Report on fiber reinforced concrete: ACI 544.1R-96 (reapproved 2009)*. Farmington Hills, MI : American Concrete Institute, 2009.
3. ACI Committee 207. *Report on the erosion of concrete in hydraulic structures: ACI 207.6R-17*. Farmington Hills, MI : American Concrete Institute, 2017.

УДК 628.3

Володимир КРАВЧЕНКО,
к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва,
водної та електричної інженерії,
Херсонський державний аграрно-економічний університет, м.
Кропивницький

ГІДРОДИНАМІЧНА КАВІТАЦІЯ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ОЧИЩЕННЯ КОМУНАЛЬНИХ СТІЧНИХ ВОД

Сучасні технологічні процеси очищення комунальних стічних вод, такі як механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні, вимагають значних енергетичних та фінансових витрат і є причиною збільшення собівартості очищеної води як продукту. Однак зазначені методи не у повній мірі відповідають вимогам нових екологічних норм, що значно підвищує токсичність водних об'єктів.

Щоб зменшити витрати на проведення технологічних процесів очищення стічних вод та їх шкідливий впливу на навколишнє середовище, необхідно удосконалювати існуючі та впроваджувати нові перспективні технології із застосуванням високоефективних методів, здатних надійно очищати воду незалежно від ступеня її хімічного чи біологічного забруднення.



Перспективним напрямком вдосконалення очисних технологій може бути використання для інактивації контамінантної мікрофлори та очищення від органічних забруднень у водному середовищі кавітаційних явищ. Кавітація виникає у рідині і проявляється пароутворенням в зонах низького тиску, з подальшим вибухом всередину (імплізія) бульбашок, що утворилися у зоні підвищеного тиску. При цьому парогазова суміш кожної бульбашки нагрівається до температур порядку декілька тисяч градусів (8000–12000 К), а стрибки тиску можуть досягати 10^3 МПа [1].

Знезаражуючий ефект пояснюється одночасним впливом як фізичних чинників, так і утворенням у парогазовій фазі бульбашки хімічних реакції, що призводять до утворення активних сполук: гідроксильних радикалів $\cdot\text{OH}$, озону O_3 , пероксиду водню H_2O_2 , які здійснюють знезаражувальну дію [2]. Зазначені речовини можуть реагувати з органічними сполуками, що містяться в стічних водах та знищувати мікроорганізми, а сила імплізії розривати молекулярні зв'язки органічних забруднювачів або викликати їх термічне розкладання і руйнування.

В процесі очищенні стічних вод кавітація може працювати одразу у двох напрямках: знезаражувати мікроорганізми, такі як бактерії, віруси, гриби і цисти, зокрема патогени *E.coli*, та руйнувати шкідливі хімічні сполуки: ПАР, барвники, феноли, фармацевтичні препарати, нафтопродукти тощо [2].

Серед відомих видів кавітації, найбільш поширеними є гідродинамічна та акустична. Враховуючи такі економічні показники як простота конструкції, низька вартість апаратів і низьке споживання електроенергії, гідродинамічна кавітація має перевагу у порівнянні з ультразвуковою [3]. Такий спосіб кавітації з обміном тиском та кінетичною енергією може бути досягнуто в апаратах, де процес генерується шляхом проходження рідини через різного роду звуження: клапани, дриселі, діафрагми, сопла.

Основою відомих проточних кавітаційних апаратів статичного типу, які мають суттєві переваги перед іншими типами, є сопла Вентурі. Його конструкція представляє собою послідовно поєднані між собою вхідний патрубок, конфузор, проточну камеру, дифузор і вихідний патрубок, які створюють зони низького тиску, де рідина прискорюється, а потім різко уповільнюється, що і призводить до виникнення кавітації. Однак, щоб забезпечити ефективну роботу таких пристроїв, що визначається оптимальними значеннями числа кавітації, необхідно враховувати їх геометрію, а також контролювати тиск на вході і виході, де відбувається імплізія бульбашок.

Кавітація може мати значний потенціал для підвищення ефективності міських очисних споруд, особливо в контексті їх модернізації. Так, у місті Кропивницький таку технологію можна використовувати як додатковий процес



до традиційного біологічного окислення, щоб підвищити біорозкладання субстрату або для дезінфекції та зниження токсичності стічних вод. Так, у схемі очистки стоків (рис. 1) гідродинамічну кавітацію доцільно інтегрувати на проміжному або попередньому етапі, залежно від цілей та типу забруднень стічних вод.



Рис. 1 –Типова принципова технологічна схема очищення стічних вод

Приклади такого впровадження можуть бути наступними:

1. На попередньому етапі після механічного очищення для знезараження бактерій і вірусів, деструкції органічних речовин та підвищення біодоступності забруднень для біоочистки.

2. Перед біологічним етапом очищення для розщеплення складних органічних молекул та підвищення ефективності біоокиснення зі зменшенням навантаження на біореактори.

3. На завершальному етапі для доочистки стічних вод з видаленням залишкових ПАР, фармацевтичних речовин та мікропластику, а також знезараження перед скиданням або повторним використанням. Цей етап може замінити або доповнити хлорування чи озонування та є безпечніше для довкілля, оскільки не утворює токсичних побічних продуктів.

Висновки. Гідродинамічна кавітація, яка переважає інші її види у простоті обладнання, енергоефективності, значно нижчій вартості та за експлуатаційними характеристиками, є безпечною і високоефективною технологією очистки і знезараження, що може бути екологічно чистим способом зменшення забруднення довкілля стічними водами.



Висока гнучкість та адаптивність до існуючих технологічних схем очищення дозволяє застосовувати кавітаційну технологію як основну, так і допоміжну, що дозволить інтенсифікувати процес очищення стоків і суттєво зменшити техногенне забруднення гідросфери через значне скорочення використання дорогих хімічних реагентів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авдєєва Л.Ю., Жукотський Е.К., Макаренко А.А. Вплив гідродинамічної кавітації на зміну температурних показників води // Теоретичні та експериментальні дослідження гідравлічних, теплових, масообмінних процесів : наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. — 2023. — Т. 82, вип. 1. — С. 22–27. — DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1000>.
2. Gagol, M., Przyjazny, A., Boczkaj, G. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes based on cavitation – A review. *Chemical Engineering Journal*, 2018, vol. 338, pp. 599–627. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.049>.
3. Ye Y.-F., Zhu Y., Lu N., Wang X., Su Z. Treatment of rhodamine B with cavitation technology: comparison of hydrodynamic cavitation with ultrasonic cavitation // *RSC Advances*. — 2021. — Vol. 11. — P. 5096–5106. — DOI: <https://doi.org/10.1039/D0RA07727E>.

УДК 66.01: 66.011

Сергій КУЗНЕЦОВ

*к.т.н., доцент кафедри хімічних технологій,
експертизи та безпеки харчової продукції,
ХНТУ, м. Хмельницький.*

Віолета БЕЗПАЛЬЧЕНКО

*к.х.н., доцент кафедри хімічних технологій,
експертизи та безпеки харчової продукції,
ХНТУ, м. Хмельницький.*

Оксана СЕМЕНЧЕНКО

*к.т.н., доцент кафедри хімічних технологій,
експертизи та безпеки харчової продукції,
ХНТУ, м. Хмельницький.*

Єлизавета ІВКІНА

*студентка гр. 5ПР1 факультету інформаційних технологій та дизайну,
ХНТУ, м. Хмельницький.*



СИНТЕЗ НОВИХ КАТАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ МОНООКСИДУ КАРБОНУ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

При роботі котелень на рідкому, твердому або газоподібному паливі, в атмосферу викидається ціла низка шкідливих речовин. Серед них одним з найбільш небезпечних являється монооксид карбону. Враховуючи, що у кожному місті чи промисловому регіоні функціонує кілька десятків, а іноді й сотень котелень, абсолютна маса монооксиду карбону, що потрапляє в атмосферу, становить тисячі тонн на рік.

Людина щодоби пропускає через свої легені близько двадцяти кубометрів повітря, яке може бути забрудненим. Монооксид карбону має сильні токсичні властивості. Він у 300 разів швидше за кисень взаємодіє з гемоглобіном крові, а його концентрація 0,32% в повітрі є летальною. Потрапивши в атмосферне повітря, монооксид карбону доокислюється до двооксида карбону дуже повільно. У середньому у природних умовах така конверсія може відбуватися від одного до трьох місяців. Існуючі методи очищення газових викидів від цієї сполуки часто є вузькоспеціалізованими і вартісними. Наприклад, каталітичне доокислення за допомогою платинових каталізаторів, яке широко поширене у автомобільних бензинових двигунах, є економічно недоцільним для великих обсягів газів із-за коштовності металів, які входять до їх складу. Також існують каталітичні методи очищення технологічних газів, наприклад у синтезі аміаку. Але ці методи зовсім не придатні для екологічного очищення, тому що вимагають застосування високих тисків (до $300 \cdot 10^5$ Па) і складного технологічного обладнання.

При синтезі каталізаторів, які можуть бути використані для доокислення монооксиду карбону ключове значення мають такі параметри, як порядок реакції та температурний коефіцієнт. У роботі вивчено кінетику реакції, визначено й досліджено основні параметри, які дозволяють надати комплексну оцінку розробленим каталізаторам [1]. Відносно низькі значення температурного коефіцієнта та енергії активації дозволяють зробити висновок, що реакція окислення оксиду карбону (II) на мідно-марганцевому каталізаторі протікає в дифузійній області. Про це свідчить перший порядок реакції. Сумарна енергія розривання молекулярних зв'язків, становить 1178 кДж/моль, що практично виключає протікання реакції без каталізатора.

При каталітичній взаємодії монооксид карбону забирає кисень у каталізатора, а вода повертає його каталізатору, причому обидва процеси протікають одночасно. Протікання реакції по механізму сумісної взаємодії призводить до значного зниження енергетичного бар'єру. Це дозволяє здійснювати процес за відносно низьких температур і великих об'ємних



швидкостях, що й спостерігалось у даних дослідженнях. Найбільш ефективним засобом прискорення процесів, що протікають у дифузійній області, є зниження розмірів зерен каталізатора, а також застосування каталізаторів з розвиненою поверхнею, де великі пори є транспортними шляхами до високорозвиненої поверхні, яка створюється тонкими порами малої довжини [2]. Експериментальні дані свідчать, що досліджені каталізатори проявляють активність вже при температурі 150°C. Але ступінь конверсії монооксиду карбону досягає максимальних значень при температурі 300°C. Синтезовані трубчасті каталізатори проявляють більш високу активність в порівнянні з промисловим низькотемпературним каталізатором НТК-4. Наявність в очищувальному газі водяної пари не знижує активність запропонованих каталізаторів.

Визначення кінетичних параметрів реакції дозволяє встановити залежність швидкості реакції від зміни концентрації кожної реагуючої речовини, розрахувати час, необхідний перетворення реагентів на продукти, а також визначити найповільнішу стадію процесу.

Досліджувалися чотири групи каталізаторів з чотирьох зразків. Каталізатори першої групи були приготовлені шляхом «гасіння» коксу, в насичених аміачних розчинах $Mn(NO_3)_2$, $Cu(NO_3)_2$, нагрітого до температури 800°C без доступу повітря. У другій групі, у якості каталітично активних сполук використовувались аміачні розчини, $KMnO_4$ і $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. Каталізатори третьої групи отримували на основі $MnCO_3$ і $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. Четверта група показала найвищу активність. Тут, крім каталітично активних речовин, використали цемент, алюмінієву пудру та аміачну воду. При взаємодії активатора (алюміній пудри) з аміачною водою виділявся водень, що сприяло утворенню пористої пастоподібної маси каталізатора. Потім цю пасту за допомогою спеціального плунжера тонким шаром наносили на внутрішню поверхню труб, де вона і застигала. Кінетичне рівняння реакції гетерогенного окислення монооксиду карбону на каталізаторі виражається рівнянням:

$$U = K [C_{CO}]^n \cdot [C_{O_2}]^m,$$
 де K – константа швидкості реакції; C_{CO}, C_{O_2} – концентрації реагуючих речовин; n, m – показники ступеня, що характеризує порядок реакції за цим компонентом. Для визначення порядку та константи швидкості реакції методом інтегрування використовувалися експериментальні дані ступеня перетворення монооксиду карбону в залежності від об'ємної швидкості газу. Відповідно до цього розрахована динаміка зміни концентрації реагуючих компонентів під час реакції. Для визначення порядку реакції з кисню використані експериментальні дані. Результати досліджень показують, що при надлишку кисню швидкість процесу не залежить від його концентрації



в газовій суміші, а при нестачі - пропорційна їй. Отже, при нестачі кисню в газовій суміші аж до стехіометричного співвідношення реакція окислення монооксиду карбону на мідь-марганцевих каталізаторах протікає за рівнянням другого порядку (перший по CO и перший по O₂). Константа швидкості, при

цьому, виражається рівнянням:

$$K_{AB} = \frac{a \cdot \ln \left[\frac{A}{A_0} \cdot \frac{B_0}{B} \right]}{\tau \cdot [B \cdot A_0 - a \cdot B_0]},$$

де "а" і "в" - коефіцієнти стехіометричного рівняння.

Збільшення концентрації кисню вище за стехіометричні показники в рівнянні реакції $CO + \frac{1}{2} O_2 = CO_2$ призводить до зниження загального порядку реакції до першого. Враховуючи, що промисловий процес санітарної очистки газів, як правило, протікає при надлишку кисню, більший інтерес становить кінетичне рівняння першого порядку: $K = \frac{1}{\tau} \cdot \ln \frac{A_0}{A}$. Це рівняння використано подальших

розрахунках констант швидкості для реакцій окислення монооксиду карбону. Знаючи залежність $K = f(T)$, можна визначити енергію активації процесу:

$$E = \frac{R \ln \frac{K_{T_2}}{K_{T_1}}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{8.31 \ln \frac{2}{0.156}}{\frac{1}{423} - \frac{1}{573}} = 35214 \text{ Дж/моль}$$

Ступінь конверсії монооксиду вуглецю в залежності від температури та об'ємної швидкості показано в таблиці 1.

Таблиця 1.

Ступінь конверсії CO на мідно-марганцевому каталізаторі

Температура, °C	Об'ємна швидкість газу, ч ⁻¹				
	5000	10000	15000	20000	25000
100	17	12	8	4	3
150	25	18	16	10	7
200	51	42	39	35	30
250	83	78	76	74	68
300	96	94	90	86	78



Синтезовано та досліджено нові каталізатори, які мають високу продуктивність, активність, вибірковість, механічну міцність та термостійкість. А також, їм присутні низький гідравлічний опір, низька температура запалювання, низька собівартість і висока стійкість до каталітичних отрут. Технологія виготовлення каталізаторів проста та надійна, вона не вимагає використання дефіцитної сировини та складного обладнання.

Розроблені каталізатори можуть бути використані на теплоенергетичних підприємствах, для очищення великих обсягів газів, від монооксиду карбону. При цьому, не має значення, який вид палива використовується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патент на винахід УКРАЇНА UA 62855A, IPC 7 V01D47/00, C10K1/00. Спосіб очищення відхідних газів котельних від оксиду вуглецю та пристрій для його реалізації / Кузнецов С.І. (Україна); заявл.04.09.03; публ. 15.12.03, Бюл. №12, 2003.

2. Іваненко О. І., Мартинюк А. С., Вагін А. В., Довголап С. Д. Каталітичне знешкодження монооксиду вуглецю печей обпалу типу рідгамера. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки, №3. 2025. С. 14-25. <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-2>.

УДК 621.383.51; 621.548

Владислав КУРАК,

к.т.н., доцент,

*в.о. завідувача кафедри енергетики, електротехніки і фізики,
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон*

Олена АНДРОНОВА,

к.т.н., доцент,

*доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики,
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон*

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ПІД ЧАС ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ХЕРСОНЩИНИ

Енергетичною стратегією України на період до 2050 року, затвердженою Кабінетом Міністрів України 21 квітня 2023 року [1], передбачається суттєвий розвиток об'єктів розподіленої генерації, що використовують відновлювані джерела енергії. Такий підхід, який пов'язаний з розосередженням генеруючих потужностей на значній території, забезпечить меншу вразливість енергосистеми щодо цілеспрямованих атак з боку ворога.



Херсонщина має значний потенціал щодо масштабування об'єктів розподіленої генерації, зокрема, вітрових та сонячних електростанцій. За оцінками фахівців з Інституту відновлюваної енергетики НАН України кліматичні умови Херсонської області дозволяють забезпечити річний обсяг генерації енергії сонячними електростанціями на рівні 4696 млн. кВт·год/рік, а вітровими станціями – близько 94 397 млн. кВт·год/рік [2]. Таким чином, сумарний потенціал Херсонщини щодо річного вироблення електричної енергії сонячними та вітровими станціями становить майже 100 000 млн. кВт·год, що становить 2/3 від загального споживання електроенергії в Україні за довоєнний 2021 рік [3]. Це свідчить про те, що Херсонщина має перспективи перетворитись з енергодефіцитного регіону в енергопрофіцитний лише за рахунок масштабування встановлених потужностей вітрових та сонячних електростанцій.

Щодо перспектив розвитку вітроенергетики, то найбільш доцільним шляхом є спорудження потужних вітрових комплексів на площах, що вважаються малоцінними для ведення сільськогосподарського виробництва. Інтеграція ж вітроелектричних установок в урбаністичне середовище є більш проблематичним, ніж об'єктів сонячної енергетики. Втім, не варто виключати й можливість будівництва автономних або мережових вітроелектричних систем малої потужності приватними домогосподарствами із власної ініціативи за умов збереження заохочувальних механізмів з боку держави.

Основним показником, що враховується при оцінці потенціалу місцевості щодо розвитку вітрової енергетики, є середньорічна швидкість вітру. Більшість території Херсонської області характеризується достатньою середньорічною швидкістю вітра, що на рівні 10 м від земної поверхні становить від 4,1 м/с до 4,5 м/с і зростає з висотою за степеневим законом. Сильні вітри, характерні для холодної пори року, в теплу пори року слабшають, але це зменшення швидкості вітру компенсується додатковими локальними вітрами, так званими бризами. Зазначені показники вітрового режиму, степова зона із значними низькопродуктивними з аграрної точки зору площами, наявність шляхів сполучення і портів дозволяють віднести Херсонщину до територій, де спорудження потужних вітропарків стає економічно доцільним. За оцінками експертів найбільш перспективними для розвитку вітроенергетики є 25 – 30% територій вздовж узбережжя Чорного і Азовського морів, а також Сиваш. Втім, побудова потужних вітропарків потребує залучень значних інвестицій.

Щодо розвитку сонячної електроенергетики в період повоєнного відновлення, то тут немає значних обмежень як на побудову потужних фотоелектричних станцій на вільних територіях, так і на сонячні системи порівняно невеликої потужності дахового та фасадного типів, які доволі легко



інтегруються в урбаністичне середовище населених пунктів. У зв'язку з цим, масштабування встановлених потужностей сонячних електростанцій може бути реалізований більш швидкими темпами, ніж у випадку вітроелектричних систем. За умов збереження і вдосконалення механізмів заохочення значний внесок у процес будівництва нових фотоелектричних станцій здатні зробити приватні домогосподарства, товариства співвласників житла багатоквартирних будинків, підприємства різної форми власності, тощо.

Під час відновлення, капітальної реконструкції та спорудження нових будівель в населених пунктах області варто приділити увагу розробці проєктів, що враховують інтеграцію фотоелектричних систем в конструкцію таких будівель (BIPV-системи). За проведеними нами попередніми оцінками кожен квадратний метр фасадної BIPV-системи в кліматичних умовах Херсонської області здатен генерувати до 107 кВт·год електричної енергії на рік, в той час як дахові – понад 150 кВт·год/м² [4]. Масове завпровадження BIPV-систем в конструкції будівель надасть можливість не лише досягти, але й перевищити очікуваний річний обсяг сонячної генерації, встановлений фахівцями Інституту відновлюваної енергетики НАН України в роботі [2].

ЛІТЕРАТУРА

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. №373-р «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року». Верховна рада України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text> (дата звернення 28.03.26).
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / За заг. ред. С.О. Кудрі. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 82 с.
3. Динаміка і структура споживання електроенергії в Україні. Всеукраїнська Енергетична Асамблея. – Режим доступу: <https://uaea.com.ua/dysp/ee-cons.html> (дата звернення 28.03.26).
4. Перспективи використання фотоелектричних фасадів під час повоєнного відновлення будівель / В. Курак, О. Андропова // Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні Херсонщини: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (ХНТУ, 26–28 квітня 2023 р.) у 2-х т. ; Т. 1 / за ред. О. В. Чепелюк. – Одеса : Олді+, 2023. – С. 265-268.



УДК 621.396.96

Юрій ЛАВРИЧ

*к.т.н., с.н.с., провідний науковий співробітник,
Інститут транспортних систем і технологій НАН України. м Дніпро.*

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РЕА

Вітчизняна радіоелектронна апаратура (РЕА), яка перебуває в експлуатації з минулого століття, в більшості практично вичерпала встановлений технічний ресурс. В розвинених країнах світу оптимальним вважається співвідношення між новою, сучасною та застарілою апаратурою 25% – 50% – 25%, в той час як для України це 0,5% – 1,5% – 98% [1].

Існуюча РЕА фактично витратила свій технічний ресурс і нині однією з головних вимог, що висувуються до розроблюваних електронних систем, є мінімізація вартості їх життєвого циклу. Питання забезпечення працездатності РЕА чітко окреслило проблему, вирішення якої є актуальним і важливим на сучасному етапі, особливо з огляду на реальний стан економіки країни.

Інноваційний розвиток країни не може здійснюватися у широкому спектрі, а має бути сфокусовано лише на пріоритетних напрямках. Статистика процесів комерціалізації наукових ідей безжалюзна: для того щоб сформулювати два технічно здійсненні рішення, необхідно в середньому не менше 11 нових наукових ідей. Українська радіоелектроніка є одним із найбільш перспективних та сприйнятливих для інновацій кластером вітчизняної економіки. Це пояснюється тим, що, по-перше, Україна входить до вузького кола країн світу, які займаються розробками та виробництвом радіолокаційної техніки і в нас збереглися необхідні для такої діяльності наукові школи та виробники[2].

РЛС є одним із основних інформаційних засобів забезпечення обороноздатності держав, значимість яких у найближчому майбутньому буде, безумовно, зростати в досить довготривалій перспективі [3].

Відповідно до Програм України одним із шляхів підтримки технічного стану РЕА є модернізація та ремонт, але ремонт в якості методу підтримки технічного стану шляхом заміни елементів, що відмовили, не може бути застасован, бо усі елементи зняти з виробництва.

Відновлення непрацездатних виробів потребує отримання інструментарію вивчення існуючих технічних рішень з урахуванням їх подальшого використання. З цієї точки зору актуальним є дослідження можливості технологій реінжинірингу.



Інститут має досвід використання можливостей реінжинірингу, отриманого під час проведення НДКР шифр «ІТСТ-2023/1». під час якого було розроблено технологію відновлення працездатності РЕА [4]. Застосування реінжинірингу РЕА із витраченим технічним ресурсом дозволило не тільки відновлення, а й більш якісне, відсутнє раніше, функціонування.

Цей науково-технічний підхід тією чи іншою мірою використовувався в усіх країнах світу, але найуспішнішим на сьогодні використанням реінжинірингу в якості комплексного підходу до технологічного розвитку країни можна визнати досвід Китайської Народної Республіки.

Реінжиніринг не має на меті відновлення як елементної бази, так і самого виробу, який втратив працездатність – його основною задачею є пошук власних варіантів заміни. Стосовно вибраних виробів, реінжиніринг використовується не для копіювання та відтворення існуючих виробів, а створення нових конструктивно-схемних рішень для проектування власних виробів.

Успішне відновлення працездатності несправного (застарілого) має починатися не з хаотичного пошуку аналогів, а з системного аудиту. Цей етап – фундамент всього подальшого процесу відновлення, від якого залежить вибір стратегії, терміни та бюджет.

Результати моніторингу існуючої РЕА показали, що в ній використовується принцип модульності, як сукупності принципів проектування та конструювання, для якого характерна одна загальна вимога – електричні схеми та конструкції (модуль, комірка, блок тощо) ФЗА повинні бути функціонально закінченими на відповідних рівнях.

Основними конструктивними елементами є модуль та комірка, займаючи 80% всього обсягу існуючої РЕА, розміщених на нижчих конструктивно-ієрархічних рівнях схеми розбиття РЕА. Враховуючи вид та обсяг реалізованих ними функцій, вони обрані як об'єкти реінжинірингу.

За умов обмежених матеріальних можливостей доцільно зберегти існуючу базову несучу конструкцію (БНК) обраних рівнів, незважаючи на те, що сучасна елементна база має значно менші конструктивні розміри.

Використання існуючої БНК дозволяє зменшити собівартість переведення виробів на нову елементну базу приблизно на 30 %, оскільки частка БНК в оптовій ціні становить близько 40 %. Збереження БНК модуля та комірки дозволить, окрім зменшення матеріальних витрат, зменшити час переведення на нову елементну базу, забезпечити повну конструктивну ідентичність та взаємозамінність, оскільки саме використовувана БНК є умовою забезпечення взаємозамінності всіх рівнів ФЗА.

Для управління процесом реінжинірингу застосовано імітаційне моделювання, при якому імітаційна модель використовується як засіб вивчення



об'єкта реінжинірування. Застосування методу імітаційного моделювання, при якому об'єкт, що вивчається, замінюється моделлю, яка з достатньою точністю описує реальну систему.

В даний час на ринку програмного забезпечення існує багато програм для моделювання технічних систем. Враховуючи рівень схмотехнічної реалізації існуючої РЕА, для моделювання об'єктів реінжинірування вибрано універсальний, не орієнтований на конкретні прикладні області моделювання технічних систем, пакет MATLAB.

Для обраних об'єктів реінжинірування проведено аналіз існуючої експлуатаційної документації (ЕД) – технічного опису ТО, схем електричних функціональних Е2, принципів Е3 та конструкторської документації для розробки вихідних даних моделювання. На підставі зібраних вихідних даних треба провести моделювання електричних схем модулів та комірок на логічних рівнях із збереженням схмотехнічних рішень та електричних параметрів вхідних та вихідних сигналів.

Для отриманих, у ході моделювання електричних принципів схем, даних треба розробити імітаційні тестові вхідні сигнали та провести тестові випробування. Результати тестових випробувань у вигляді часових діаграм вхідних та вихідних сигналів використовуються для визначення принципів роботи, схмотехнічної реалізації функцій модулів і комірок, відібраних для відновлення працездатності.

Вихідним продуктом реінжинірування існуючих виробів стає модель, яка дозволяє провести дослідження модулів комірок, принципів роботи, ступеня відповідності закладеним функціям і способів реалізації.

Часові діаграми вихідних сигналів, що отримуються в результаті моделювання, використовуються для порівняльного аналізу з часовими діаграмами, які приведені в ЕД існуючих виробів.

На підставі результатів моделювання існуючих комірок та вихідних даних потрібно розробити технічне завдання (ТЗ) на проектування нових електричних схем нових комірок замість тих, що втратили працездатність.

Виходячи із схмотехнічних та конструктивно-технологічних особливостей побудови комірок, втративших працездатність, необхідно сформулювати вимоги до елементної бази.

Нова схмотехнічна побудова обраних об'єктів реінжинірування може бути забезпечена лише переходом на сучасну елементну комплектуючу базу (ЕКБ). Для цього потрібно як вибір елементної бази, так і дослідження схмотехнічних рішень функціональних вузлів на логічному та електричному рівнях, їх моделювання та подальше перепроєктування модулів і комірок, як елементів першого і другого конструктивного рівня РЕА. За багатьма напрямками вітчизняний розробник гостро потребує постачання високотехнологічних ЕКБ



з-за кордону. Нами була обрано елементна база відомого виробника Texas Instruments (TI). Нова ЕКБ обрана з урахуванням наявних власних технологій виготовлення, повної відповідності вимогам за електричними та логічними параметрами, доступності. На підставі застосовуваних вихідних даних та результатів моделювання існуючих комірок слід треба провести моделювання нових комірок на обраній ЕКБ з розробкою електричних схем. Для розроблених нових комірок необхідно провести імітаційне моделювання прототипів виробів на сучасній елементній базі з подальшим порівняльним аналізом параметрів існуючих та розроблених комірок на рівні часових діаграм моделей прототипів та розроблених комірок. Моделювання проведено на програмній платформі TINA- TS Texas Instruments (TI). Рішення про одиничність прототипу та аналогу приймається в процесі порівняльного аналізу вихідних характеристик моделювання непрацездатних та новостворених виробів. Підсумком всіх етапів робіт реінжинірингу є розробка повного комплексу документації, що дозволяє виготовлення нового виробу.

Реінжиніринг є однією з найшвидших методів як відновлення устарілого устаткування, так і імпортозаміщення, що означає реальну можливість успішного експорту своїх виробів за конкурентними цінами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Климченко В.Й., Белавін О.В. Обґрунтування раціонального співвідношення обсягів капітального ремонту, модернізації і закупівлі та розробок ОВТ РТВ на середньострокову та довгострокову перспективи. Зб. наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2013, вип. 3(36), С. 35–41.
2. Лаврич Ю. Н. Особенности отечественной школы радиолокационных систем контроля космического пространства. Наука та інновації. 2019, № 15 (2), С. 80–90.
3. Кваша Т. К. Світові наукові та технологічні тренди у сфері забезпечення національної безпеки// К.: УкрІНТЕІ. 2019. 107с.
4. Лаврич Ю.М., Бистров М.І., Плаксін С.В., Шкіль Ю.В. Відновлення працездатності радіоелектронних пристроїв шляхом реінжинірингу//ТКЕА 2023, №3-4. С.3-8.



УДК 621.762

В.В. ЛАЗОРИК,

аспірант

О.В. ЛЯШКО,

аспірант

*Херсонський національний технічний університет, м. Хмельницький,
Україна*

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСО- ТА КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ ШЛЯХОМ ПЛАКУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ ПОРОШКІВ

Актуальність дослідження. Сучасний розвиток машинобудування та інженерії поверхні вимагає створення матеріалів із підвищеною зносо- та корозійною стійкістю. Одним із найбільш ефективних методів захисту деталей машин є нанесення газотермічних, зокрема плазмових, покриттів. Вони характеризуються високою продуктивністю, технологічною гнучкістю та можливістю формування покриттів із заданими властивостями.

Разом з тим, традиційні керамічні покриття на основі оксидів Al_2O_3 та ZrO_2 мають низку недоліків, зокрема підвищену крихкість, пористість і недостатню когезійну міцність, що обмежує їх експлуатаційну довговічність. У зв'язку з цим актуальним є пошук шляхів підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Перспективним напрямом є наномодифікація порошкових матеріалів, яка полягає у формуванні на поверхні частинок тонких металевих оболонок нанометрової товщини. Такий підхід дозволяє суттєво впливати на процес формування структури покриття та покращувати його фізико-механічні властивості. [1-5]

Мета роботи. Метою роботи є дослідження впливу наноструктурного плакування порошків Al_2O_3 та ZrO_2 титаном і алюмінієм на структуру, корозійну стійкість та зносостійкість плазмових покриттів.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктами дослідження були порошки оксидної кераміки Al_2O_3 та ZrO_2 із розміром частинок 10–63 мкм. Плакування порошків здійснювалося іонно-плазмовим методом із формуванням двошарової металевої оболонки: внутрішнього адгезійного шару титану та зовнішнього шару алюмінію.

Напилення покриттів проводили плазмовим методом у режимі ламінарного плазмового струменя, що дозволяло зменшити окислення частинок під час транспортування до підкладки та забезпечити стабільність процесу.



Дослідження морфології порошків і покриттів виконували методом сканувальної електронної мікроскопії з енергодисперсійним аналізом. Корозійну стійкість оцінювали методом поляризаційного опору в 10% розчині сірчаної кислоти. Зносостійкість визначали за схемою «палець–диск» при сухому терті.

Результати дослідження. Встановлено, що в результаті іонно-плазмового плакування на поверхні частинок формуються рівномірні металеві оболонки товщиною від 41 до 633 нм. Отримані покриття характеризуються високою щільністю та рівномірністю розподілу компонентів.

Дослідження показали, що на поверхні порошків формуються стійкі наноструктурні утворення, які мають високу адгезію до керамічної основи. Це забезпечує покращення когезійної міцності покриттів та зменшення їх схильності до руйнування.

Результати корозійних випробувань засвідчили, що покриття, отримані з плакованих порошків, мають значно вищий поляризаційний опір порівняно з покриттями з немодифікованих порошків. Найбільш стабільні результати показали покриття на основі системи $ZrO_2/Ti/Al$.

Трибологічні випробування показали, що покриття з чистих порошків Al_2O_3 та ZrO_2 зазнають інтенсивного зношування та руйнування внаслідок викришування. У той же час покриття з плакованих порошків демонструють стабільну поведінку після стадії припрацювання. Інтенсивність зносу таких покриттів у 4–6 разів нижча порівняно з традиційними.

Обговорення результатів. Отримані результати свідчать про те, що наноструктурне плакування порошків є ефективним способом керування структурою плазових покриттів. Металеві оболонки сприяють покращенню змочування частинок, підвищенню їх пластичності під час напилення та формуванню більш щільної структури покриття.

Крім того, наявність металевих прошарків сприяє зменшенню внутрішніх напружень і підвищенню опору зародженню та поширенню тріщин. Це пояснює підвищення зносостійкості та корозійної стійкості отриманих покриттів.

Висновки. Доведено ефективність іонно-плазмового плакування порошків Al_2O_3 та ZrO_2 із формуванням двошарової оболонки Ti/Al .

1. Встановлено, що наноструктурні оболонки забезпечують підвищення щільності та когезійної міцності покриттів.

2. Показано суттєве підвищення корозійної стійкості плазових покриттів у агресивних середовищах.

3. Встановлено зниження інтенсивності зношування у 4–6 разів для покриттів із плакованих порошків.



4. Отримані результати підтверджують перспективність застосування плакованих порошків для створення довговічних функціональних покриттів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vinogradov A. Yu., Agnew S. R. Nanocrystalline materials: fatigue // *Encyclopedia of Nanotechnology*. — New York : Marcel Dekker, 2004. — P. 2269–2288. — DOI: <https://doi.org/10.2320/matertrans.42.74>.
2. Buketov A., Sapronov O., Klevtsov K., Kim B. Functional polymer nanocomposites with increased anticorrosion properties and wear resistance for water transport // *Polymers*. — 2023. — Vol. 15, № 16. — Art. 3449. — DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15163449>.
3. He J., Ice M., Lavernia E. J. Synthesis of nanostructured Cr₃C₂-25(Ni₂₀Cr) coatings // *Metallurgical and Materials Transactions A*. — 2000. — Vol. 31A. — P. 555–564. — DOI: 10.1007/s11661-000-0290-0.
4. Смирнов И. В., Чёрный А. В., Фурман В. К., Долгов Н. А. Влияние нанодисперсных модификаторов на структуру и свойства плазменно напыленных покрытий // *Материалознаводство та машинобудування*. — 2017. — № 5. — DOI: 10.20535/1810-0546.2017.5.94945.
5. Смирнов І. В., Чорний А. В., Калашникова І. А., Селіверстов І. А. Застосування композиційних порошків системи Al₂O₃–Ti–Cu для підвищення корозійної стійкості плазмових покриттів // *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*. — 2009. — № 1. — С. 74–81.

УДК 621.311

Віктор ЛИТВИНЕНКО

*к.т.н., доцент, доцент кафедри гідротехнічного будівництва,
водної та електричної інженерії
Херсонський державний аграрно-економічний університет*

ВІДНОВЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В ПІСЛЯВОЄННИЙ ЧАС

Енергетична система України зазнає колосальних руйнувань під час повномасштабної війни. Пошкодження електростанцій, високовольтних підстанцій, силових трансформаторів, магістральних мереж – в таких умовах енергетика функціонує вже кілька років. Вже зараз зрозуміло – енергетична система потребує не тільки локального аварійного ремонту, а й масштабної реконструкції та відновлення у довгостроковій перспективі. Плани модернізації мають спиратися на нові воєнні виклики, вимоги безпеки, європейські



стандарти та можливості фінансування. Стратегічне відновлення енергетики – це ключовий фактор економічної стабільності, обороноздатності та безпеки держави. Без надійного електропостачання неможливі промислове виробництво, робота бізнесу, функціонування критичної інфраструктури та нормальне життя громадян. Саме тому реконструкція галузі розглядається як пріоритетна задача національного масштабу [1].

Масовані атаки на об'єкти генерації та мережеву інфраструктуру призвели до пошкодження та знищення теплових електростанцій, теплоелектроцентралей, окремих компонентів атомних станцій, магістральних ліній електропередачі. Ворог вражає не тільки електростанції, а й мережеву інфраструктуру – а це глобальні ризики розриву зв'язків між регіонами, енергетична ізоляція окремих населених пунктів, повна розсинхронізація в роботі енергетичної системи. Частину потужностей було втрачено, дефіцит електроенергії та порушення балансу між генерацією та споживанням став причиною вимушеного впровадження графіків стабілізаційних відключення світла по всій країні. Особливо критичним стало руйнування Каховської ГЕС та окупація Запорізької АЕС.

Для подолання дефіциту Україна періодично залучає імпорт електроенергії з країн ЄС. Інтеграція з європейською системою ENTSO-E дозволяє здійснювати комерційний обмін, постачання електрики та аварійну підтримку – це суттєво підвищує стійкість і стабільність української енергетичної інфраструктури в пікові періоди. Імпорт – це інструмент балансування в умовах дефіциту, наразі постійної залежності від поставок немає. Але при інтенсивних обстрілах та регулярних руйнуваннях імпорт стає головним захистом від повного блекауту та колапсу в енергетиці. Потреба у зовнішніх поставках буде зменшена, якщо держава забезпечить достатній обсяг генерації, подбає про створення власних резервів, а ворог зменшить інтенсивність обстрілів по всій країні.

Проекти реконструкції енергетичної інфраструктури передбачають не тільки заміну пошкодженого обладнання, а й комплексне перетворення та модернізацію системи. Енергетика майбутнього має бути гнучкою, технологічною, сучасною, з високою ступінню децентралізації. Пріоритетні напрямки – масштабування відновлюваних джерел енергії, розвиток цифрових систем керування, фізичний захист енергооб'єктів від обстрілів на період продовження повномасштабної війни. Недостатньо просто повернути енергетику до довоєнного стану – важливо запустити стратегічне перезавантаження галузі.

Майбутня реконструкція енергетичної галузі України виходить за межі відновлення зруйнованої інфраструктури. Необхідно сформувати нову модель енергосистеми – стійку до воєнних викликів, з достатньо високим рівнем



цифровізації та обов'язковою інтеграцією з європейським ринком. Зміни мають охоплювати модернізацію генеруючих потужностей, мережевої інфраструктури, відновлюваних джерел, вузлових підстанцій та мереж розподілу електричної енергії. Комплексний підхід забезпечить стабільну роботу енергетичної системи в межах країни та на світовому ринку.

Перспективи реконструкції передбачають фізичне відновлення та технологічне оновлення пошкоджених ТЕС, ГЕС, підстанцій, ЛЕП, ВРП – встановлення більш ефективного обладнання, підвищення продуктивності, автоматизацію процесів управління, створення додаткових резервних потужностей. Важливим напрямком є посилення інженерного захисту об'єктів та розміщення критичних вузлів з урахуванням безпекових ризиків. Модернізація об'єктів дозволить зменшити втрати в мережах, підвищити стабільність постачання та скоротити експлуатаційні витрати. Фактично відбудова формує нову технічну базу для довгострокової стійкості енергосистеми. Які кроки допоможуть перейти від аварійного режиму до модернізації енергетичного обладнання:

- капітальний ремонт пошкоджених енергоблоків ТЕС, ТЕЦ, ГЕС;
- модернізація систем захисту та автоматики, перехід на цифрові рішення;
- посилення фізичного захисту об'єктів: будівництво укриттів, сіток, екранів для критично важливого обладнання;
- створення резервних підстанцій та джерел живлення для швидкого відновлення електропостачання у разі пошкоджень;
- заміна зношених та пошкоджених ЛЕП.

Інтеграція з європейськими стандартами ENTSO-E

У 2022 році енергетична система України була інтегрована з європейською мережею ENTSO-E, що дозволило позбутися залежності від країн пострадянського простору. В майбутньому цей напрямок буде зростати та розвиватися – міждержавні мережі будуть підвищувати пропускну здатність, нормативна база нашої країни буде приведена у відповідність до європейських норм. Такі заходи підвищують стабільність системи, відкриває вільний ринок імпорту та експорту електроенергії, робить такий ринок прозорим. Згодом це стане однією з причин підвищення інвестиційної привабливості української енергетичної галузі. З чого формуються механізми інтеграції:

- синхронізація нормативної бази;
- модернізація систем диспетчеризації;
- розширення існуючих та будівництво нових міждержавних мереж;
- впровадження європейських стандартів кібербезпеки;
- адаптація тарифних планів під сучасні реалії.



Використання відновлюваної енергетики – це можливість відбудови економіки. Відновлювані джерела енергії є не лише дешевими й екологічними, а й дозволяють забезпечити енергетичну незалежність [2].

Дослідження швейцарської компанії Lazard показують, що вартість електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) постійно зменшується, а від традиційної генерації — зростає. Для сонячних та вітрових електростанцій промислового масштабу вона вже є суттєво дешевшою за електроенергію від традиційної генерації. Причому, з кожним роком ця різниця на користь ВДЕ тільки зростає.

Відновлювані джерела енергії не можуть стати повною заміною іншим видам генерації, але це потужний резерв на випадок руйнувань, аварій, пікових навантажень. Щоб знизити навантаження на централізовані вузли та створити умови для безпечного функціонування енергосистеми, необхідно знайти можливості більш рівномірного розподілу сонячних та вітрових електростанцій по території України. Зелена енергетика здатна накопичувати електроенергію, завдяки чому вдається частково компенсувати нестабільну генерацію. Конкретні кроки:

- оновлення державної стратегії розвитку відновлюваних джерел енергії;
- запуск державних програм для підтримки зеленої енергетики;
- спрощення бюрократичних процедур для швидкого запуску нових об'єктів;
- будівництво сонячних та вітрових електростанцій у відносно безпечних регіонах;
- підтримка розвитку приватних дахових СЕС для енергонезалежності населення та бізнесу;
- залучення міжнародних інвестицій і грантів на розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ);
- розвиток вітчизняного виробництва компонентів сонячних та вітрових електростанцій, металоконструкцій для СЕС та ВЕС.

Висновки. Розглянуто та проаналізовано перспективи модернізації енергетичної галузі України. Модернізація енергетичного обладнання включає: капітальний ремонт пошкоджених енергоблоків теплових та гідроелектростанцій, побудову резервних підстанцій та джерел живлення, заміна зношених та пошкоджених ліній електропередачі. Найбільші перспективи в суттєвому підйомі енергетичної галузі України в післявоєнний час є використання відновлюваної енергетики. Відновлювані джерела енергії є найбільш дешеві й екологічні і являються низьковуглецевими джерелами енергії.



ЛІТЕРАТУРА

1. <https://gmt.net.ua/novini/rekonstruktsiia-ta-vidbudova-ukrainskoi-enerhetyky>.
2. <https://www.theguardian.com/environment/2021/nov/03/more-than-40-countries-agree-to-phase-out-coal-fired-power>.

УДК 656.072

П.В. ЛУБ'ЯНИЙ,

к.т.н., доцент,

завідувач кафедри транспортних систем і технічного сервісу

ХНТУ, м. Херсон.

О.А. СУСОРОВА,

старший викладач кафедри транспортних систем і технічного сервісу

ХНТУ, м. Херсон.

І.О. КУЗЬМЕНКО,

аспірант кафедри економіки, підприємництва та економічної безпеки

ХНТУ, м. Херсон.

ЕВОЛЮЦІЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У М. ХЕРСОН

У період війни потрібно посилити увагу до транспортної інфраструктури, оскільки розвиток останньої є однією із передумов стійкого розвитку національної економіки загалом. Недарма транспортна інфраструктура розглядається як один із найважливіших чинників формування національної економіки та забезпечення національної безпеки майже за всіма її складовими.

Особливе місце в загальній структурі займає масовий міський пасажирський транспорт (МПТ). Життя міста Херсон неможливо уявити без розвинутої системи МПТ, рівень розвитку і ефективність роботи якої багато в чому визначає умови життя людей і впливає на ефективність їх роботи на виробництві. В силу цього місто Херсон з його планувальною структурою, транспортною мережею, сферою суспільного виробництва і населення повинен розглядатися як єдина система.

Функціонування транспортної системи — одна з основних складових життя міста, оскільки стосується більшої частини його жителів. Особливо це стосується роботою транспорту в умовах прифронтової зони. Згідно рішення виконавчого комітету Херсонської міської ради станом на 2016 рік маршрутів в пасажирській мережі у місті було 66, з них 51 автобусних та 15 тролейбусних (рис 1).



Однією з найпоширеніших проблем, що знижують ефективність роботи пасажирської транспортної мережі є дублювання маршрутів. У зв'язку з цим виникла необхідність у розробці та застосуванні науково обґрунтованих методів оцінки та оптимізації маршрутних мереж, спрямованих на зниження дублюваності маршрутів та підвищення ефективності використання пасажирських транспортних засобів.

		Маршрут, що дублює																																																		
/	1	2	3	3A	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	17	18	20	21C	22	22C	24	25	26	27	28	29	30	33K	34	35	38	41	42	43	47	48	49	50	51	51C											
1	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	92	-	-	-	-	-	-	39	44	-	-	-	43	35	-	-	-	-	-	-	-	53	-	-	21	-	-										
2	-	-	66	-	-	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
3	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	-	-	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
3A	-	-	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	-	59	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	-									
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	58	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	-	-	56	-	-	-	-	-	-									
6	-	-	-	-	-	-	-	-	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	-									
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	40	-	-	-	-	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	-									
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	-	-	55	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
12	-	31	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68	-	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-								
15	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
16	-	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	44	-	-	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	-								
17	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	-									
18	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	-	44	54	-							
20	-	-	71	-	-	-	-	-	47	-	-	-	-	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
21C	-	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	92	-	-	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
22	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	45	-						
22C	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-						
24	-	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
27	-	-	-	-	34	-	-	-	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
28	-	81	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
29	-	-	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	-	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
33K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
34	-	-	-	-	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	-	-	44	-					
35	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
38	-	-	-	-	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	-	-	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
41	-	-	-	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
42	-	-	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
43	-	-	-	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	-	-						
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	-	38	-				
48	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
50	-	-	-	-	-	-	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57	-	-			
51C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-	45	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-	-	-		
51C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-	45	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Рис. 1. Ступінь дублювання автобусних маршрутів, згідно рішення виконавчого комітету Херсонської міської ради станом на 2016 рік, %

Для вирішення проблеми дублювання маршрутів транспорту загального користування співробітниками і студентами кафедри Транспортних систем і технічного сервісу ХНТУ була виконана госпдоговорна робота на замовлення Херсонської міської ради, по її результатам було запропоновано розробка нової маршрутної мережі, при якій транспортна робота по перевезенню мешканців залишалась незмінною, а кількість транспортних засобів зменшилась, відповідно зменшились експлуатаційні витрати на перевезення.

Запропонована модель представлено на рис. 2.



На сьогодні транспортна мережа прийняла такий від (рис. 3)

		Маршрут, що дублює															
		/	2	3	4	5	6	7	10	14	16	17	20	33	38	47	48
Маршрут, що дублюється	2	-	66		61	15	20		10	15	10	15		15	15	15	
	3	66	-	20	20			36		36	15	36		36	15	15	
	4		20	-	20	20		15	20	20	20	25		25	20		
	5	61	20	20	-	25			50	20	59	20					14
	6	15		20	25	-	15	40	40	35		35					
	7	20			20	15	-						30				
	10		36	15		40		-		55		55		45			
	14	10	-	20	50	40			-	62			40				
	16	15	36	20	20	35		55	43	-		82					
	17	15		20	59							-		35			
	20	15	15	25	20	35	55			84		-					
	33						30		40		35		-				
	38	15	36	25				45				40		-			
	47	15	15	20												-	
	48	15	15		14												-

Рис. 3 Ступінь дублювання автобусних маршрутів в м. Херсон, які утворилися в роки війни, %

Попри наявність чисельних науково-практичних розробок, можна говорити про недостатню увагу до проблем забезпечення економіки України у сфері транспорту, у тому числі в частині розвитку транспортної інфраструктури.

Законодавчі й інші нормативні правові акти, що регулюють діяльність транспорту розрізнені, суперечливі і, у низці випадків, уже не віддзеркалюють сучасну реальність.

Пропонуємо відновлювати транспортну мережу одразу з урахуванням рекомендацій і пропозицій. Які надавалися до початку війни.

Провести аналіз ситуації, коли транспортна мережа створилась самостійно, без наукових розробок і адміністративного втручання і при цьому непогано виконує свої функції по забезпеченню мешканців міста Херсон транспортними послугами.



ЛІТЕРАТУРА

1. Звіт про науково-дослідну роботу «Обстеження пасажиропотоків на міських автобусних та тролейбусних маршрутах загального користування в м. Херсон»; ХНТУ договір від 23.07.2021 р. № 148 - 2021 - 51 с.
2. В. Д. Макаренко, П. В. Луб'яний, О. А. Войтович. Якість пасажирських транспортних послуг на основі нефінансових показників. ВІСНИК ХНТУ № 1(84), 2023 р. С. 48 – 55.
3. Луб'яний П.В. Войтович О.А., Кузьменко І.О. Політика органів місцевої влади щодо управління транспортною інфраструктурою в Херсонській області. Державна політика щодо місцевого самоврядування: стан, проблеми та перспективи: збірник матеріалі в 14-ї всеукраїнської науково-практичної конференції: Хмельницький, 2023. С. 70-72.

УДК 658.14:355

Юрій МЄШКОВ

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет, м. Хмельницький*

ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

Транспортна інфраструктура – це сукупність усіх транспортних шляхів, транспортних пунктів усіх видів транспорту та допоміжного обладнання спрямованого на безпосереднє обслуговування шляхів і транспортних пунктів [1]. Транспортний комплекс України є одним з найбільших галузей економіки, кожна сфера діяльності потребує транспортного забезпечення, а економічний розвиток країни пришвидшує необхідність появи нових об'єктів транспортної інфраструктури. Якщо транспортна інфраструктура слабо розвинена, вона знижує активність процесів в організації та виконання логістики, що зменшує результативність економічних показників. Однак після військових подій на Україні, коли зруйнована велика кількість цивільних, промислових підприємств, мостів, готелів, шкіл, лікарень, унікальних історичних будівель, магазинів, торгівельних центрів, театрів, кінотеатрів, підприємств транспорту, необхідно повне відновлення країни, промислової, цивільної, приватної та транспортної інфраструктури. Для розбудови та відновлення всієї транспортної системи та інфраструктури країни, повинен бути інноваційний підхід.



Україна має дуже потужний транзитний потенціал, через своє дуже вигідне географічне розташування. Але через недостатній рівень державних та приватних інвестицій, транспортна інфраструктура й досі перебуває на рівні задоволення базових потреб економіки. До того ж головне, останні дослідження загального стану транспортної інфраструктури показали, що показники якості та сервісу, ефективності перевезень, енергоефективності, рівень безпеки, вплив на довкілля, не відповідають сучасним вимогам [2].

Раніше розроблена транспортна стратегія Drive Ukraine 2030, повинна була перетворити Україну на розвинену, високотехнологічну та інноваційну країну завдяки розвитку сфери транспорту та інфраструктури, застосування новітніх технологій, за допомогою цифрової інфраструктури, безпеки на транспорті, транспортних коридорів та приєднання до єдиної транспортної та інфраструктурної мережі з Євросоюзом [3].

Але спочатку тривалі карантинні заходи під час пандемії, потім війна внесли свої корективи в реалізацію цих планів та заходів.

Була зроблена швидка оцінка збитків та потреб RDNA3, яка охоплює збитки, заподіяні з моменту повномасштабного вторгнення РФ на територію України. Відповідно до звіту, прямі збитки в Україні на разі сягають майже 486 млрд доларів, причому найбільш постраждалими секторами визначені житло, транспорт, торгівля та промисловість, енергетика та сільське господарство, найбільш постраждалими регіонами були визнані Донецька, Харківська, Луганська, Запорізька, Херсонська та Київська області.

Ключовими сферами відновлення є: житло та комунальні послуги транспорт і логістика, енергетика, соціальна інфраструктура, промисловість та сфера послуг.

Але в епоху цифрової економіки, нас вже не влаштовує просто відновлення зруйнованого, відбудована транспортна інфраструктура вона потребує сучасного інноваційного рівня. За висновками експертів, до війни якісної транспортної та складської інфраструктури катастрофічно не вистачало, особливо складських об'єктів класу "А" (з високим ступенем цифровізації, автоматизованою роботою всіх систем, контролем температури і вологості, з висотою стелі не менше 10 метрів і достатньою кількістю докових воріт).

Індустріальні парки розглядають як основу для промислового відновлення держави. Промислові парки як бізнесмодель мають величезний потенціал. Найбільш перспективні регіони для розвитку нових промислових парків і логістичних комплексів — Київ, Київщина, Львів та Львівська область та Одеса, яка до 2030 року стане "дверима" для торгівлі з Європою і центром логістичної системи України [4].

Час все змінює, необхідність радикально перетворювати свої плани, мислення, рішення, це також стосується повоєнної відбудови України,



оновлення роботи всієї транспортної системи країни, яка підходить для майбутнього та краще відповідає потребам сучасних людей.

Транспортний сектор з'єднує різні міста, міські та сільські райони, ринки, виробничі майданчики і експортні порти. Для відновлення транспортної інфраструктури у короткостроковій перспективі необхідно розробити критерії пріоритетного фінансування та проведення відновлювальних робіт (будівництво, реконструкція, капітальний і поточний ремонт). Оскільки на перших етапах відновити інфраструктурні об'єкти в цілому видається проблематичним, першочергово має фінансуватись відновлення елементів, які безпосередньо впливають на мобільність та безпеку.

Тому, післявоєнний план відновлення України має враховувати екологічні вимоги євроінтеграції, особливо у сфері транспорту, тому що транспортний сектор один із найбільших джерел забруднення та викидів парникових газів. Значна частина транспортних засобів, що експлуатуються в Україні, є застарілими, не ефективними, що дуже негативно впливає на навколишнє середовище та здоров'я громадян. Питання шумового забруднення міст від транспорту також є однією з серйозних проблем, поруч із забрудненням атмосферного повітря.

Міський транспорт країни дуже важливий сектор, більша половина всього населення світу живе в містах, а до 2030 року міське населення може становити 2/3 світового. Міста набувають все більшого значення, а міський транспорт стає все більш актуальним і вимагає впровадження комплексної транспортної політики. В Україні вже є розгалужена система місцевого громадського транспорту, яку необхідно змінювати, розширювати та покращувати її якість, щоб створити кращий екологічний стан міст. Дуже зросла кількість приватних автомобілів та збільшився пасажиропотік автотранспортом, що призвело до збільшення викидів в атмосферу [5].

Маючи такий високий обсяг викидів на дорогах та рівень заторів в містах України, слід розглянути систему "плати за затори". Щоб вирішити це питання, дана система може бути впроваджена в українських містах з населенням понад 500 тис осіб (Київ, Харків, Одеса, Дніпро, Запоріжжя, Львів, Кривий Ріг). Разом ці міста мають 8,8 млн жителів, що становить майже чверть кількості населення України.

Щоб система "плата за затори" працювала як ефективне рішення транспортних проблем, а не проблемою для населення, жителям міст мають паралельно бути запропоновані альтернативні види якісного громадського транспорту, які надають сучасні комфортабельні послуги по перевезенню.

Витрати на впровадження такої системи в різних містах будуть відрізнятися, тому прогнозувати їх складно, але світовий досвід показав, що "плати за затори" в довгостроковій перспективі є вигідним муніципальним



рішенням, яке окупається протягом кількох років після впровадження. Ця система одночасно сприятиме скороченню трафіку, і водночас буде джерелом надходження коштів до місцевого бюджету для покращення роботи громадського транспорту.

Серед пріоритетних сфер для України у рамках ЄЗК (Європейський зелений курс) розглядається екологізація транспорту. Це, окрім іншого, передбачає: скорочення викидів парникових газів у секторі на 90%, збільшення частки сталих видів транспорту, більш жорсткі стандарти викидів забруднюючих речовин для транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння, розвиток інфраструктури для електромобілів. Використання більш екологічно чистих видів транспорту матиме наслідком покращення якості повітря і одночасно забезпечуватиме потребу населення у мобільності [5].

Тобто наші майбутні міста, які ми плануємо відновити після війни, повинні мати інші технології, по перше це напрямок на розвиток екологічних видів транспорту та створення розвитку нових технологій громадського транспорту та організації самого міста. Зараз є можливість створити "Розумні міста", тобто технології Smart City щоб користуватися найсучаснішими технологіями для покращення якості життя. Це стосується всіх сфер — побуту, роботи, користування муніципальними об'єктами та транспортом, отримання послуг і сервісів від державних установ, головне це безпечне місто, яке вже буде більш екологічним, що буде мати спектр нових розумних технологій [6].

Транспортна інфраструктура потребує сучасного інноваційного рівня та комплексного підходу до відновлення, враховуючі велику кількість аспектів: побудову високотехнологічної та інноваційної сфери транспорту та цифрової інфраструктури. Запропоновано використання технології Smart City щоб населення могло користуватися найсучаснішими технологіями для покращення якості життя, що зменшить кількість заторів у містах, принесе збільшення доходів міста від паркувального сервісу, зниження забруднення повітря, впровадження інтелектуальної платіжної інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Григорак: М. Ю. Логістична інфраструктура: навч. посібник / М.Ю. Григорак, Л. В. Костюченко, О.Є. Соколова. Київ.: Логос, 2013. 400 с.
2. Розвиток транспортної інфраструктури України вимагає нових підходів URL: [https:// www.epravda.com.ua/columns/2022/01/28/ 681863/](https://www.epravda.com.ua/columns/2022/01/28/681863/).
3. Постанова Кабінету Міністрів України "Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025—2027 роках" № 1550 від 27 грудня 2024 р.



4. Шевчук Н. Світовий досвід розвитку індустріальних парків та їхні переваги для розвитку економіки України. Проблеми і перспективи економіки та управління. 2021. № 4(28). С. 68–74. URL: <http://ppeu.stu.cn.ua/article/view/262444/258872>.

5. Линник І.Е., Лежнева О.І., Дорожко Є.В. та ін. Екологічні аспекти автотранспортного комплексу: монографія. Харків: Видавництво “Смугаста типографія”, 2020. 194 с

6. Маркевич К., Сіденко В. SMART-інфраструктура у сталому розвитку міст: світовий досвід та перспективи України. Київ: Заповіт, 2021. 400 с

УДК 656.025.2

В.М. МОСЬПАН

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу,
Херсонський національний технічний університет,
м. Херсон – м. Хмельницький, Україна*

Є.І. ГУРБІН

*здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
Херсонський національний технічний університет,
м. Херсон – м. Хмельницький, Україна*

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ АЛЬЯНСІВ У СИСТЕМІ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА УМОВ РИНКОВОЇ КОНКУРЕНЦІЇ

Припустимо, що в зоні діяльності транспортного альянсу (ТА) існує S зупиночних пунктів, $O=(o_1, o_2, o_3, \dots, o_S)$, на яких функціонує n маршрутів міського пасажирського транспорту (МПТ) загального користування, $K=(k_1, k_2, k_3, \dots, k_n)$.

З урахуванням вищевказаного формалізуємо матрицю закріплення маршрутів за зупиночними пунктами Ω , елементи якої $w_{ko}=1$, якщо k -й маршрут включає o -й зупиночний пункт, або 0 у протилежному випадку.

Нехай вектор G – це кількість пасажирів, які прибувають на зупиночні пункти в зоні обслуговування ТА протягом досліджуваного періоду часу.

$$G=\{g_1, g_2, g_3, \dots, g_s\}, \quad (1)$$

де g – кількість пасажирів, що прибувають на зупиночний пункт у зоні дії ТА протягом досліджуваного періоду часу.



Якщо елемент матриці Ω $\omega_{ko}=1$, то k -й маршрут обслуговує o -й зупиночний пункт. У випадку, коли зупиночний пункт входить до складу кількох маршрутів, пасажирів можуть розподілятися між ними.

Задамо матрицю Δ , елементи якої δ_{ko} визначають частку, яку займає k -й маршрут при обслуговуванні o -го зупиночного пункту. Очевидно, що коли $\delta_{ko}=0$ при $\omega_{ko}=0$, і $\delta_{ko} \in [0;1]$ при $\omega_{ko}=1$.

Тоді значення пасажиропотоку за маршрутами, вектор Q , визначається так:

$$Q = \Delta \cdot G. \quad (2)$$

Значення пасажиропотоку на k -му маршруті складе

$$q_k = \sum_{i=1}^s \delta_{ki} \cdot g_k, \quad (3)$$

де q_k – значення пасажиропотоку на k -му маршруті;

i – кількість зупиночних пунктів, що входять до складу k -го маршруту;

g_k – кількість пасажирів, що прибувають на зупиночні пункти в зоні обслуговування ТА на k -му маршруті.

Під час формування парку рухомого складу (ПРС) ТА вибір здійснюється виходячи з пасажиропотоків на маршрутах у зоні обслуговування, часу оборотного рейсу на маршруті, пасажиромісткості транспортних засобів і динамічного коефіцієнта використання місткості [1,2].

Виходячи з (3), визначається необхідна кількість транспортних засобів у складі ТА:

$$A_{ТА} = \sum_{k=1}^n q_k \cdot \mu \cdot t_{обк} / \sum_{k=1}^n q_{нк} \cdot \gamma_{дк}, \quad (4)$$

де μ – ступінь вподобання пасажирів транспортного засобу на маршруті;

$t_{обк}$ – час оборотного рейсу транспортного засобу на k -му маршруті;

$q_{нк}$ – номінальна пасажиромісткість транспортного засобу на k -му маршруті;

$\gamma_{дк}$ – динамічний коефіцієнт використання місткості транспортного засобу на маршруті k .

З (4) виокремимо необхідну кількість транспортних засобів для роботи на k -му маршруті:

$$A_k = q_k \cdot \mu \cdot t_{обк} / q_{нк} \cdot \gamma_{дк}. \quad (5)$$

Однією з ключових особливостей функціонування ТА на конкурентних ринках міських пасажирських перевезень є узгодження економічних інтересів учасників альянсу і громадськості, диференційованих за рівнями споживчих переваг, що зумовлює зважений підхід до формування тарифів на користування послугами ТА.

Виходячи з робіт [2,3], єдиний тариф ТА має перебувати в діапазоні:



$$T_{ел.тр.} \leq T_{ТА} \leq T_{авт.}, \quad (6)$$

де $T_{ел.тр.}$ – тариф на перевезення пасажирів на маршрутах електротранспорту;

$T_{ТА}$ – єдиний тариф ТА;

$T_{авт.}$ – тариф на перевезення пасажирів на автобусних маршрутах.

Таким чином, верхня межа тарифу $T^{BM}_{ТА}$ складе:

$$T^{BM}_{ТА} = T_{авт.} \quad (7)$$

Нижня межа тарифу $T^{HM}_{ТА}$:

$$T^{HM}_{ТА} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K B_{jk}, \quad (8)$$

де B_{jk} – витрати на експлуатацію j -го виду транспортного засобу на k -му маршруті.

Із урахуванням вищевказаного розрахунковий тариф ТА становитиме:

$$T^{роз}_{ТА} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K B_{jk} \cdot \Omega_{jk} (1 + НП) + \beta \cdot \Delta\Pi, \quad (9)$$

де $НП$ – норма прибутку;

Ω_{jk} – функція привабливості j -го виду транспортного засобу на k -му маршруті;

β – коефіцієнт еластичності;

$\Delta\Pi$ – додатковий прибуток від впровадження тарифної політики.

Таким чином, єдиний тариф ТА може визначатися наступним чином:

$$T_{ОП} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K B_{jk} \cdot \Omega_{jk} \cdot (1 + НП) + \beta \cdot \left\{ (C_{1год} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K B_{jk} \cdot \Omega_{jk}) \cdot \alpha^{t_{ЖЦП}^{БАЗ}} - (C_{1год} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K B_{jk} \cdot \Omega_{jk}) \cdot \alpha^{t_{ЖЦП}^{ОП}} \right\}, \quad (10)$$

де $C_{1год}$ – вартісна оцінка однієї пасажиро-години;

α – коефіцієнт компаундингу;

$t_{ЖЦП}^{БАЗ}$ – час життєвого циклу послуги при базовому варіанті;

$t_{ЖЦП}^{ОП}$ – час життєвого циклу послуги ТА.

Запропонована методика визначення єдиного тарифу ТА показує, що при здійсненні безпересадкової поїздки на електротранспорті споживачу транспортної послуги не вигідно користуватися послугами ТА. У разі використання хоча б однієї пересадки спостерігається економія коштів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mobilitätsreport 2024/2025 – Zukunft Nahverkehr // Zukunft Nahverkehr. – Берлін, 2025. – 84 с.
2. Nahverkehrsplan Verkehrsverbund Rhein-Ruhr 2025 // Verkehrsverbund Rhein-Ruhr. – Гельзенкірхен, 2025. – 312 с.



3. InterkommunalMobil – Nachhaltige Mobilität in ländlichen Regionen : звіт // Umweltbundesamt. – Дессау-Росслау, 2025. – 168 с. – (Texte / Umweltbundesamt ; № 92/2025).

УДК 621.9.04:533.9:621.791.947.55

Василь НЕЧАЄВ,

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри технології машинобудування, Криворізький національний
університет, м. Кривий Ріг*

Антон РЯЗАНЦЕВ,

*кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри технології машинобудування,
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТА ПРИ ПЛАЗМОВО-МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ

У сучасному машинобудуванні значна увага приділяється підвищенню ефективності обробки деталей, виготовлених із важкооброблюваних матеріалів, зокрема високоміцних сталей і сплавів. Разом з тим їх обробка супроводжується значними труднощами через високу твердість, низьку теплопровідність і схильність до наклепу. Традиційні методи механічної обробки не завжди забезпечують необхідну продуктивність і економічність процесу, що зумовлює необхідність пошуку нових технологічних рішень. Одним із перспективних напрямів удосконалення технологічних процесів є застосування плазмово-механічної обробки, яка дозволяє підвищити продуктивність різання та забезпечити необхідну якість поверхні деталей [1,3]. Важливим фактором ефективності цього процесу є стійкість різального інструмента, яка безпосередньо впливає на економічність та надійність виробництва.

Проблема підвищення стійкості інструмента при обробці важкооброблюваних матеріалів розглядалася у працях багатьох вітчизняних і зарубіжних дослідників. Встановлено, що основними факторами, які впливають на зношування інструмента, є температура в зоні різання, контактні напруження та характер формування стружки [2,3].

Дослідження в галузі термомеханічної обробки показали, що попередній нагрів матеріалу дозволяє зменшити його міцність і підвищити пластичність, що сприяє зниженню сил різання. У роботах, присвячених плазмовому нагріванню, доведено ефективність використання високотемпературних джерел



тепла для локального впливу на заготовку без суттєвого перегріву всього об'єму деталі [1-3].

Метою дослідження є визначення та наукове обґрунтування параметрів плазмово-механічної обробки поверхонь деталей із високоміцних матеріалів для підвищення продуктивності процесу та забезпечення необхідних показників якості. Особливу увагу приділено аналізу впливу попереднього плазмового нагрівання заготовки на умови різання та зношування інструмента.

Результати дослідження отримано шляхом поєднання теоретичних і експериментальних методів. Теоретична частина роботи була спрямована на визначення параметрів теплового поля заготовки під час плазмового нагрівання в умовах плазмово-механічного точіння. Аналіз температурних режимів дозволив оцінити характер розподілу теплових потоків у зоні різання та їхній вплив на стан матеріалу заготовки. Експериментальні дослідження були спрямовані на комплексне вивчення взаємозв'язку між основними параметрами різання та умовами попереднього плазмового нагрівання.

У процесі різання руйнування різальної кромки та інтенсивність зношування інструмента значною мірою визначаються рівнем механічних навантажень і температур, що виникають у зоні контакту інструмента з матеріалом. Попередній плазмовий нагрів заготовки сприяє зниженню міцності поверхневого шару матеріалу, що призводить до зменшення сил різання та механічного навантаження на інструмент. У результаті зменшується інтенсивність його зношування, підвищується стійкість і стабільність роботи інструмента.

Дослідження показали, що використання плазмового нагрівання перед механічною обробкою дозволяє змінити характер розподілу силових і теплових навантажень у зоні різання. Це позитивно впливає на умови формування стружки, зменшує ризик передчасного руйнування різальної кромки та забезпечує більш стабільний технологічний процес. Крім того, зниження опору різанню сприяє підвищенню продуктивності обробки та покращенню якості обробленої поверхні. Аналіз результатів теоретичних розрахунків і експериментальних даних дає змогу зробити такі висновки.

Під час різання важкооброблюваних матеріалів попередній плазмовий нагрів заготовки у два-три рази знижує рівень максимальних і середніх навантажень, що діють на лезо інструмента.

Зумовлене плазмовим нагрівом зниження максимальних і середніх нормальних контактних навантажень дає змогу запобігти викришуванню різальної кромки твердосплавного інструмента та втраті пластичної міцності леза, забезпечуючи зменшення інтенсивності збільшення радіуса її заокруглення. Інтенсивність зношування інструмента значно знижується, що



забезпечує підвищення його стійкості та стабільності роботи. Покращуються умови формування стружки та якість обробленої поверхні.

Отримані результати підтверджують доцільність використання плазмово-механічної обробки при виготовленні деталей із високоміцних матеріалів. Оптимізація параметрів плазмового нагрівання та режимів різання дозволяє підвищити стійкість інструмента, зменшити енергетичні витрати процесу та забезпечити необхідні показники точності та якості поверхні. Таким чином, плазмово-механічні технології є перспективним напрямом розвитку сучасного машинобудування, що забезпечує підвищення конкурентоспроможності виробництва за рахунок зниження витрат та покращення якості продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kim D., Lee S., Kim J. Plasma assisted machining of difficult-to-cut materials // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2018.
2. Liu Z. et al. Plasma assisted machining: a review // *Frontiers of Mechanical Engineering*. – 2023.
3. Нечаєв В.П., Рязанцев А.О., Реброва С.В., Лавриненко Д.О. Дослідження впливу технологічних факторів на стійкість ріжучого інструменту при плазмово-механічній обробці // *Вісник Криворізького національного університету*. – 2021. – Вип. 52. – С. 39–44. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2021-1-52-39-44>

УДК 656.5:656.63

А.В. ПЕТРОВСЬКИЙ,

к.т.н., доцент,

Херсонська державна морська академія, м. Одеса, Україна

Е.С. АППАЗОВ,

к.т.н., доцент,

Херсонська державна морська академія, м. Одеса, Україна

МОДЕЛЬ ECDIS USABILITY INDEX (EUI) ДЛЯ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ЗРУЧНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ECDIS

Вступ. Сучасні комерційні перевезення важко уявити без морських перевезень, які складають до 90% всіх перевезень. Однак, незважаючи на високий ступень залежності всієї світової економіки від морських перевезень (випадок із затримкою судна EVERGIVEN показав наскільки всі: і країни-



виробники, і країни-імпортери пов'язані), та, намагання розширювати використання систем e-navigation, експлуатація таких систем, як ECDIS, має реальні проблеми:

- відсутність стандартизації графічного інтерфейсу (дійсно, ІМО при сертифікації ECDIS надає вимоги щодо відображення деякого функціоналу на головному екрані, але це виключення, а не правило для всіх інших функцій, це ж стосується і алгоритмів їх реалізацій). Наслідком є різноманітність графічних інтерфейсів та алгоритмів реалізації функціоналу ECDIS.

- Когнітивне перевантаження. Сучасні ECDIS мають надлишок функцій, прикладом може бути Navi Sailor 4000 (*Wärtsilä*).

- Політика повідомлень ECDIS. Занадто багато повідомлень, і, незважаючи на останню класифікацію, деякі судна продовжують використовувати ECDIS, що її не підтримують.

- Проблема переносу знань офіцером при зміні судна. Часто бувають випадки перенавчання на інший ECDIS саме завдяки вищезначеним проблемам. Це прямо підтверджується практикою та дослідженнями порівнянь ECDIS.

Аналіз досліджень. Сучасні дослідження ECDIS дедалі більше зосереджуються не на функціональних можливостях систем, а на особливостях їх використання оператором. Це зумовлено тим, що базові функції ECDIS стандартизовані, тоді як ефективність їх застосування визначається якістю інтерфейсу та зручністю взаємодії. У роботі [1] usability розглядається через показники часу виконання задач і кількості операцій, що дозволяє оцінити ефективність інтерфейсу. У [2] цей підхід розширено за рахунок врахування когнітивного навантаження та сприйняття інформації користувачем. Дослідження [3] демонструє, що структура інтерфейсу впливає на розподіл уваги оператора, що може ускладнювати роботу з критичною інформацією. Порівняльний аналіз у [4] показує, що ECDIS різних виробників суттєво відрізняються за реалізацією функцій та логікою інтерфейсу, незважаючи на єдині нормативні вимоги. У роботі [5] зазначається, що спроби стандартизації (S-mode) поки не забезпечили повної уніфікації. Практичний аспект використання систем розглянуто у [6], де встановлено, що більшість проблем пов'язана з особливостями експлуатації, зокрема складністю налаштування та надлишковими попередженнями. Узагальнюючи, у [7] підкреслюється, що ефективність ECDIS значною мірою залежить від урахування людського фактору при проєктуванні інтерфейсу.

Постановка задачі. Аналіз сучасних досліджень показує, що ключові проблеми використання ECDIS пов'язані з особливостями взаємодії людини з системою, а не з її функціональними можливостями. Незважаючи на значну кількість робіт, відсутня універсальна методика інтегральної оцінки, що



враховує як технічні, так і когнітивні аспекти. Отримані результати створюють підґрунтя для розробки математичної моделі інтегрального показника, в якому вагові коефіцієнти визначаються з урахуванням впливу відповідних факторів на безпеку судноводіння.

Основна частина. Ключовим елементом інтегральної оцінки є визначення вагових коефіцієнтів критеріїв. На основі аналізу [1–7] можна виділити три основні підходи.

1. Емпіричний підхід (на основі метрик ефективності). У роботах [1], [2] основна увага приділяється таким показникам, як: час виконання задачі; кількість операцій та кількість помилок. Фактично ваги визначаються неявно через значущість показників у експерименті. Проте цей підхід має обмеження: не враховує наслідки помилок і не відображає реальний ризик.

2 Когнітивно-орієнтований підхід. Дослідження [2], [3], [7] показують, що важливу роль відіграють: когнітивне навантаження, розподіл уваги і складність інтерфейсу. У цьому випадку ваги повинні враховувати: вплив на сприйняття інформації і ймовірність втрати ситуаційної обізнаності. Недоліком є складність кількісної оцінки цих параметрів.

3 Ризик-орієнтований підхід. На основі [6] можна зробити ключовий висновок: ваги критеріїв повинні визначатися через їх вплив на ризик навігаційної аварії.

У цьому контексті: помилки оператора мають високі наслідки → найбільша вага; час виконання задач впливає на ймовірність помилки і кількість дій має опосередкований вплив, також навчання впливає на довгострокову надійність.

З урахуванням аналізу [1–7] доцільно використовувати комбінований підхід:

- пріоритет безпеки (на основі [6]) - показник помилок має максимальну вагу;
- вплив на ефективність (на основі [1]) - час виконання задач має середню вагу;
- когнітивний вплив (на основі [2], [3]) - складність навчання та інтерфейсу має помірну вагу;
- ергономічні фактори - кількість операцій має мінімальну вагу.

ECDIS інтегрує всі навігаційні дані в одну систему і є центром e-navigation.

Пропонується модель ECDIS Usability Index (EUI) для кількісної оцінки usability ECDIS.

$$EUI = w_1 T_{task} + w_2 N_{clicks} + w_3 E_{errors} + w_4 L_{learninll}$$

1)

де:



T_{task} - час виконання задачі;

N_{clicks} - кількість дій;

E_{errors} - кількість помилок;

$L_{learning}$ - час навчання;

w_i - вага відповідного i -го фактору.

Рекомендований первісний діапазон значень ваг:

$$w_1 \in [0.2; 0.3]; \quad w_2 \in [0.05; 0.15]; \quad w_3 \in [0.4; 0.5]; \quad w_4 \in [0.15; 0.25]$$

Вагові коефіцієнти критеріїв визначені з урахуванням їх впливу на безпеку судноводіння. Найбільшу вагу надано показнику помилок оператора, оскільки він безпосередньо впливає на ризик навігаційної аварії. Меншу вагу мають показники ергономіки інтерфейсу, такі як кількість операцій, що виконуються, оскільки їх вплив є опосередкованим.

При вказаному розподілі значень суми нижніх меж не дорівнюють 1, так само, як і сума верхніх. Для коректного отримання значень, потрібно проводити процедуру нормування вже після вибору конкретних значень з діапазону:

$$w_i^{norm} = \frac{w_i}{\sum_1^4 w_i} \quad 2)$$

Після нормування сума ваг конкретних значень буде дорівнювати 1.

Чим вище EUI, тим гірше usability.

Висновки. Обґрунтування вагових коефіцієнтів повинно базуватися на ризик-орієнтованому підході, який враховує вплив кожного параметра на безпеку судноводіння. Запропонований підхід дозволяє сформулювати науково обґрунтовану модель інтегрального показника EUI, що може бути використана для порівняльного аналізу ECDIS різних виробників для подальшого вибору судноплавними компаніями виробника ECDIS.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wang, T. H., & Zheng, P. J. (2014). Analysis of usability of ECDIS human-machine interface. *Applied Mechanics and Materials*. V 519-520, p. 1397-1400 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.519-520.1397>.
2. Hao, Y. et al. (2019). Usability evaluation method of ECDIS human-computer interaction. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*. V13, P.84-95 <https://doi.org/10.52820/j.enavi.2019.13.084>
3. Zalewski P., Muczynski B. (April 2016). Extended Framework for Usability Testing in e-Navigation Systems. TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation V10(1). p.43-48 <https://doi.org/10.12716/1001.10.01.04>
4. Žuškin S., Brčić D., Uroda M., Strabić M. (2023). Evolving ECDIS: Concept Development Through Different Manufacturer Models



Comparison. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 17, No. 1, pp. 227-234
<https://doi.org/doi:10.12716/1001.17.01.25>

5. Vu, V. D., Lützhöft, M., & Imset, M. (2024). Developing human factors design guidelines for marine electronics: the case of S-mode. WMU Journal of Maritime Affairs. Volume 23, pages 25–48
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13437-023-00317-2>

6. Application and usability of ECDIS A MAIB and DMAIB collaborative study on ECDIS use from the perspective of practitioners. (2021). p.94
https://assets.publishing.service.gov.uk/media/612e1535e90e07054107585f/ECDIS_Application_and_Usability.pdf

7. Porathe, T. (2016). Human-centred design in the maritime domain. Design Society. *DS 85-1: Proceedings of NordDesign, Volume 1, Trondheim, Norway, 10th - 12th August 2016*, p.175-184. <https://www.designsociety.org/download-publication/39295/Human-Centred+Design+in+the+Maritime+Domain>

УДК 656.44.025.2(477.72)

В.О. ПРОЦЕНКО,

д.т.н., професор,

А.П. МІНЮКОВ,

студент групи ІТТ,

кафедра транспортних систем і технічного сервісу,

Херсонський національний технічний університет

РЕЗЕРВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРОЛЕЙБУСНОГО СПОЛУЧЕННЯ В МІСТІ ХЕРСОНІ

Тролейбусна мережа м. Херсона, що розбудовувалась з 1960 року, найбільшого розквіту зазнала в середині 1980-х років, коли налічувалось 15 маршрутів (рис. 1), з яких на лютий 2022 року працювало 7, які фактично залишились у спадок від СРСР, пов'язуючи житлові масиви із тогочасними крупними підприємствами, не відповідаючи напрямкам найбільших пасажиропотоків у ХХІ столітті. Однак, існуюча мережа може дати можливість відновити непрацюючі маршрути чи створювати нові згідно вимог поточного моменту.

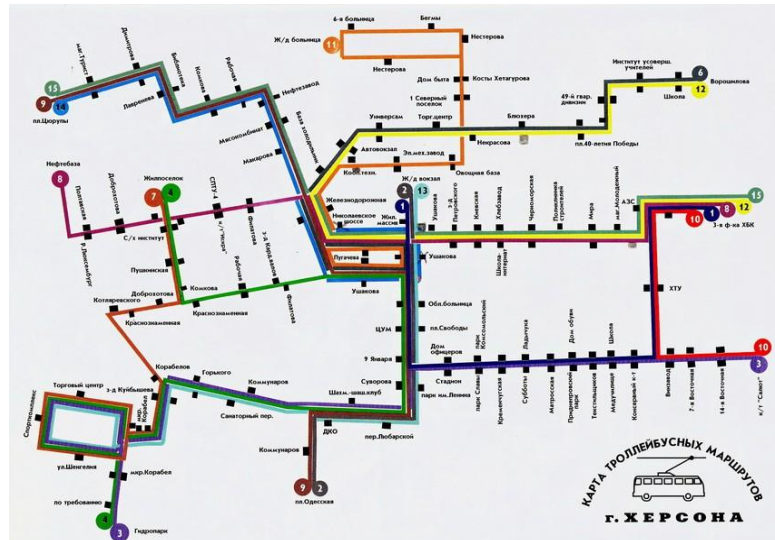


Рис. 1. Схема троллейбусних маршрутів м. Херсона (на 1996 рік)

За рахунок аналізу основних параметрів маршрутної системи м. Херсона, зокрема довжини маршрутної мережі, пасажирообігу, річного обсягу перевезень, показано, що основний обсяг перевезень виконується автобусами малого та середнього класу, на троллейбусні перевезення випадає лише 20...25% обсягу. Наявність значної кількості сумісних ділянок в маршрутній мережі пасажирського транспорту м. Херсон призвело до виникнення такого негативного явища як недобросовісна конкуренція на маршрутах, що, зокрема, призвело до занепаду троллейбусних перевезень (за 30 років троллейбусний парк скоротився більше ніж втричі).

Херсонська агломерація включає в себе населені пункти-супутники загальною чисельністю населення понад 60 тис. осіб. Сполучення деяких із цих населених пунктів може бути організовано троллейбусами з АХ із забезпеченням їх руху по міських маршрутах.

Парк троллейбусів м. Херсона застарілий, переважають високопідлогові машини (75%), те саме стосується автобусів. Існуючі сім маршрутів троллейбуса (на 2022 рік) в м. Херсоні мають високий ступінь дублювання автобусними (автобусні маршрути №8 та №35 на 30...50% дублюють більшість троллейбусних), є також автобусні маршрути, що дублюють троллейбусні на 100%). Загалом, троллейбусна система міста застаріла, оскільки існуючі маршрути не відповідають напрямкам найбільших пасажиропотоків – відсутнє пряме сполучення більшості районів із залізничним вокзалом, найбільшими лікарнями та університетами, а також густонаселених районів між собою, відсутній електрорух рядом магістральних вулиць.

Транспортна система м. Херсона потребує удосконалення з урахуванням вимог законодавства щодо забезпечення екологічності, що можна реалізувати



зокрема застосуванням тролейбусів з АХ і ширшим використанням наявної тролейбусної мережі за рахунок створення нових маршрутів та розширення існуючих. Це потребуватиме виконання нового обстеження транспортних потоків та уточнених розрахунків.

Заходи щодо удосконалення існуючих тролейбусних маршрутів застосуванням тролейбусів з автономним ходом можуть бути наступними: маршрути №1, 8, 12 можуть бути продовжені до селищ Зеленівка, Молодіжне, Інженерне. Маршрут №3 – до с. Антонівка. Маршрут №11 – до с. Степанівка та Чорнобаївка.

Розроблено схеми 13 нових маршрутів для тролейбусів з автономним ходом (рис. 2), що сполучають основні райони м. Херсона між собою, з основними установами охорони здоров'я, навчальними закладами. Для розроблених схем визначено довжини руху під контактною мережею та автономним ходом. Виконані розрахунки потрібної ємності ТАБ дали можливість встановити, що для комплектації тролейбусів, що працюватимуть на розроблених маршрутах потрібна закупівля трьох типорозмірів ТАБ: на 22, 44 та 67 кВт×год, що треба враховувати при плануванні інвестицій та енергоспоживання.

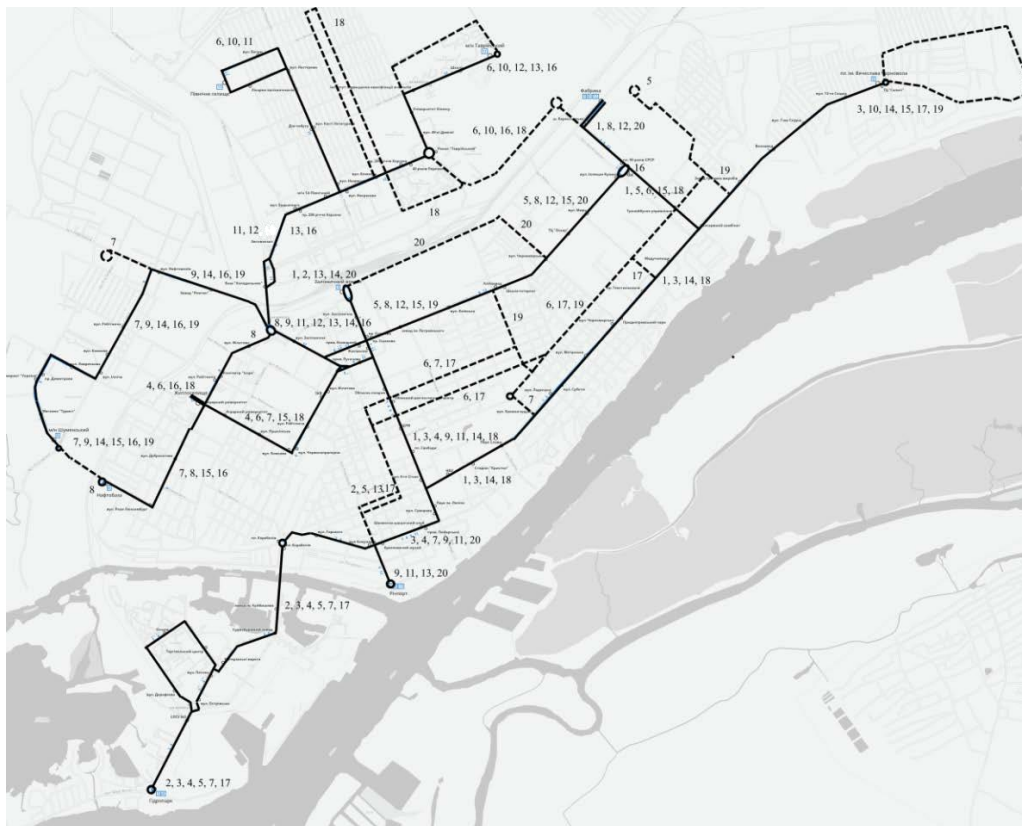


Рис. 2. Схема пропонуванних та існуючих тролейбусних маршрутів



Виконано розрахунок собівартості перевезення пасажирів на всіх маршрутах для трьох варіантів комплектування транспортними засобами – новими автобусами ЕТАЛОН А08128, новими тролейбусами PTS-12309 та капітально відремонтованими силами тролейбусного депо тролейбусами ЛАЗ Е183D1 зі встановленням системи АХ та прокладання контактної мережі. На прикладі одного з маршрутів показано, що зрівнятися за собівартістю перевезення пасажирів з дизельним автобусом (варіант 1, $S_{enac} = 19,55$ грн.) може капітально відремонтований на базі депо тролейбус (варіант 3, $S_{enac} = 20,64$ грн.) чи прокладання контактної мережі (варіант 4, $S_{enac} = 19,02$ грн.). Варіант із закупівлею нових тролейбусів PTS-12309 забезпечує найвищу собівартість перевезення пасажирів ($S_{enac} = 26,30$ грн.). Оновлення тролейбусного парку потребуватиме кредитування чи участі в грантових програмах.

На основі виконаних розрахунків запропоновано організаційні та технічні напрямки зниження собівартості перевезення пасажирів: встановлення системи дистанційного контролю та оплати проїзду (резерв зниження собівартості 13...17%). Показано, що при збільшенні середньої експлуатаційної швидкості на модельному маршруті №17 на 13% з (15 км/год до 17 км/год) дає можливість знизити собівартість перевезення пасажирів тролейбусом з АХ на 9% (з 26,54 грн. до 24,14 грн.), що при обсягу перевезень $KП_{доб} = 4000$ пасажирів дає добову економію близько 10 тис. грн. і формує умови для розроблення організаційних заходів забезпечення перевезень та управління рухом тролейбусів на маршрутах. Такі заходи, насамперед повинні стосуватись ремонту дорожнього полотна для забезпечення підвищення швидкості, обмеження паркування на вул. Грушевського, Театральній, Українській, і т.д., запровадження інтелектуального управління світлофорною сигналізацією та ін.

На першому етапі впровадження тролейбусів з АХ на маршрути м. Херсона доцільно виконати закупівлю кількох нових машин і виконати дослідження енергоспоживання та особливостей роботи їх систем, зокрема опалення та кондиціонування з метою уточненого нормування витрат електроенергії та розрахунків витрат. Паралельно доцільною є закупівля експлуатованих машин типу ЛАЗ чи Богдан, виконання їх ремонту та модернізації на базі тролейбусного депо з оснащенням системою АХ, до чого доцільно залучати студентів навчальних закладів, організувавши таким чином їх практику та цим досягнувши синергетичного ефекту.

Запропоновані рішення та заходи є лише схемними, але і вони можуть стати основою для більш широкої дискусії та подальших досліджень, не відмінюючи головного – для змін у ширшому запровадженні електротранспорту у пасажирські перевезення м. Херсона з покращенням їх якості потрібна воля і



ряд подекуди радикальних та непопулярних рішень місцевої адміністрації, мотивування якої може забезпечити свідомо громадянська спільнота херсонців.

ЛІТЕРАТУРА

1. Малєєв В.О., Безпальченко В.М. Технічні новації та еколого-економічні переваги міського електротранспорту м. Херсона / *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2021, №1 (76). С. 56-65. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.1.7>

2. Луб'яний П.В., Войтович О.А. Організація пасажирських перевезень: навчальний посібник. – Херсон: ХНТУ, 2019. – 186 с.

3. Босняк М.Г. Пасажирські автомобільні перевезення. – К.: Слово, 2009. – 272 с.

4. Андрусенко С.І., Будниченко В.Б., Подпіснєв В.С. Розробка методики визначення експлуатаційних витрат автобусів та тролейбусів з різними видами силових установок / *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт)*. – 2022. – № 2 (270). – С. 15-25. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25>

5. Будниченко В.Б., Проценко В.О., Бабій М.В. Напрямки підвищення екологічності транспортної системи міста Херсона. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 16-18 квітня 2024 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – С. 69 – 72.

УДК 62-6: 621.43

Сергій РУСАНОВ

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу,
Херсонський національний технічний університет,
м. Херсон – м. Хмельницький, Україна*

Олег КЛЮЄВ

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу,
Херсонський національний технічний університет,
м. Херсон – м. Хмельницький, Україна*



Ірина ШАТОХІНА

*старший викладач кафедри транспортних систем і технічного сервісу,
Херсонський національний технічний університет,
м. Херсон – м. Хмельницький, Україна*

Андрій ЦИМБАР

*здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
Херсонський національний технічний університет,
м. Херсон – м. Хмельницький, Україна*

СПРАЛЬНО-КАПСУЛЬНИЙ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОР ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Забезпечення раціонального теплового режиму автомобільного двигуна внутрішнього згоряння під час передпускової підготовки є важливою інженерною задачею. Дотримання оптимальної температури силового агрегату в момент запуску суттєво впливає на паливну економічність, екологічні показники, надійність і довговічність його роботи. Водночас відхилення температури ключових елементів двигуна від нормативних значень на стадіях запуску та прогрівання, особливо за низьких температур довкілля, призводить до погіршення процесів згоряння палива, збільшення механічних втрат і зниження загальної ефективності функціонування транспортного засобу [1].

Якість роботи теплового акумулятора значною мірою залежить від його внутрішньої будови, особливостей циркуляції теплоносія та інтенсивності процесів теплообміну між акумулюючим матеріалом і робочою рідиною [2]. Привертають увагу в цьому аспекті спіральні-капсульні теплоакумулятори з фазовим переходом, які відзначаються компактністю, розвиненою площею теплообміну та здатністю підвищувати інтенсивність теплопередачі.

В цьому дослідженні представлено результати чисельного аналізу процесів тепловіддачі та просторової нерівномірності температурного поля під час функціонування теплоакумулятора з фазовим переходом спіральні-капсульного типу оригінальної конструкції, а також визначення тривалості фазового переходу.

Для проведення дослідження було використано спіральні-капсульний теплоакумулятор оригінальної конструкції. Капсульні елементи виготовлялися з безшовних алюмінієвих труб діаметром 22 мм із товщиною стінки 1,25 мм. Внутрішній простір капсул заповнювали розплавленим теплоакумулюючим матеріалом (октагідратом гідроксиду барію – температура фазового переходу 78° С).



Постановка задачі передбачала дослідження процесів теплообміну в апараті з урахуванням фазового переходу, починаючи з моменту його ініціювання. У розрахунку розглядалася нестационарна течія рідини, яка надходить до теплоаккумулятора з температурою 5°C при витраті $0,145 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, що забезпечується роботою зовнішнього насоса.

Врахування фазових перетворень здійснювалося із застосуванням методу ефективної теплоємності [3], без явного відстеження меж розділу фаз, з одночасним моделюванням конвективного перенесення теплоти в рідкій фазі. Опис фазового переходу базувався на підході, за яким теплоємність матеріалу модифікується шляхом введення додаткового δ -подібного члена та задається у вигляді відповідної аналітичної залежності

$$c_{\text{ef}} = c(T) + q_n \delta(T - T^*), \quad (1)$$

де T^* – температура фазового переходу.

У результаті чисельного моделювання сформовано температурні поля для окремих моментів часу в межах нестационарного процесу тривалістю 120 с. Отримані розподіли температури разом із лініями течії наведено на рис. 1.

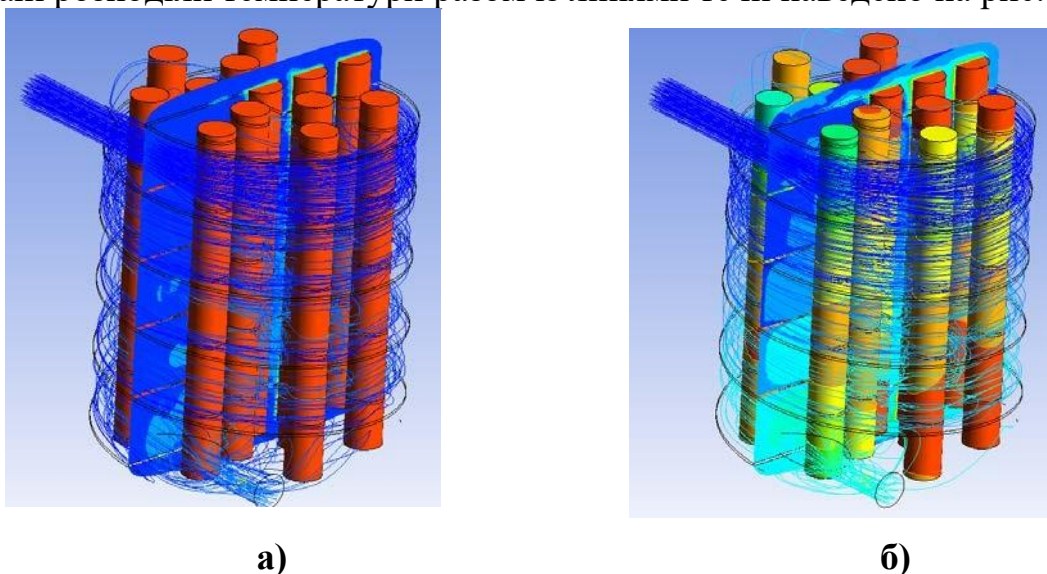
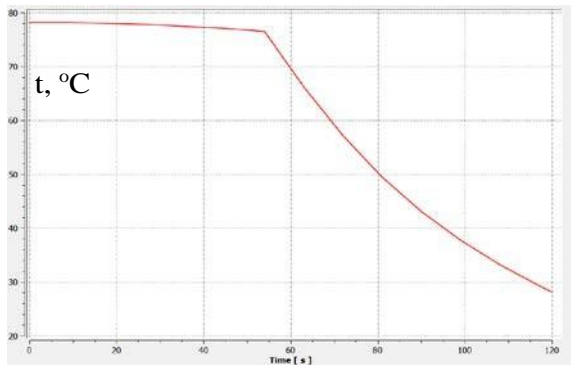
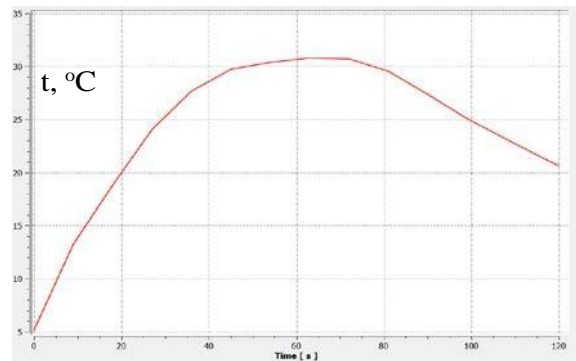


Рис. 1. Розподіл температурного поля та лінії течії на початкових етапах процесу (а) і на проміжних стадіях (б)

Зміну температури всередині однієї з капсул у часі наведено на рис. 2 (а), а на рис. 2 (б) — температурну залежність для рідини на виході з апарата. Із графіка (а) випливає, що тривалість фазового переходу становить приблизно 57 с, після чого спостерігається інтенсивне зниження запасеної теплової енергії. Водночас, починаючи орієнтовно з 20-ї секунди (рис. 2, б), різниця температур між вхідним і вихідним потоками перевищує 15°C , досягаючи максимального значення приблизно через хвилину роботи.



а)



б)

Рис. 2. Залежність температури всередині капсули від часу (а) та зміна температури рідини на виході з апарата у часі (б)

Отримані розподіли швидкостей теплоносія разом із побудованими лініями течії, наведеними на рис. 1, дають змогу оцінити як інтегральну ефективність теплопередачі у спіральньо-капсульному теплоаккумуляторі, так і локальні особливості взаємодії потоку з поверхнею капсульних елементів. Такі результати є показовими для аналізу рівномірності вилучення накопиченої теплоти по всьому об'єму теплоакмулюючого пристрою.

Проведене чисельне дослідження демонструє, що застосування CFD-підходів є ефективним інструментом для аналізу гідродинамічних і теплових явищ у спіральньо-капсульному теплоаккумуляторі, який використовується для передпускової теплової підготовки двигунів внутрішнього згорання. У результаті отримано детальні характеристики розподілу швидкостей і температури теплоносія в каналах апарата, що дало змогу всебічно оцінити ефективність використання накопиченої теплової енергії та ступінь рівномірності прогріву капсул.

Визначено тривалість фазового переходу теплоакмулюючого матеріалу. Встановлено, що різниця температур між вхідним і вихідним потоками не опускається нижче 15°C та досягає максимального значення близько 26°C . Результати моделювання засвідчили, що рух охолоджувальної рідини в умовах складної спіральньо-лабіринтної конфігурації супроводжується утворенням зон зі зниженою швидкістю, зокрема поблизу кришки та днища апарата. Такі ділянки спричиняють локальне зменшення інтенсивності теплообміну і формування виражених температурних градієнтів як у теплоакмулюючому матеріалі, так і в конструктивних елементах пристрою.



ЛІТЕРАТУРА

1. Gabriel A. Study on the Possibility of Facilitating Internal Combustion Engine Starting at Very Low Temperatures // *SAE Technical Paper* 920038. – 1992. – DOI: [10.4271/920038](https://doi.org/10.4271/920038).
2. Gritsuk I. V. The Development and the Study of the Combined Heating System of Engines and Vehicles // *The Herald of Kharkiv National Automobile and Highway University*. – 2015. – Vol. 70. – P. 23–32.
3. Дмитрієв Д.О., Аппазов Е С., Русанов С., Ключев О.І. Моделювання процесу розігріву двигуна з тепловим акумулятором при передпусковій підготовці // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2015. – № 5. – С. 54–58.

УДК 667.64:678.026

Олександр САПРОНОВ,
д.т.н., професор,
Херсонська державна морська академія, м. Херсон,
Владислав ШАРАНОВ,
PhD,
Дунайський інститут Національного університету
«Одеська морська академія», м. Ізмаїл,
Михайло БАНГА,
аспірант,
Херсонська державна морська академія, м. Херсон

ЕПОКСИДНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ І ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Післявоєнне відновлення об'єктів критичної інфраструктури, зокрема водного транспорту, потребує створення новітніх матеріалів із підвищеними експлуатаційними характеристиками, довговічністю та стійкістю до агресивних середовищ. Особливої актуальності набуває розроблення багатофункціональних полімерних покриттів, здатних забезпечувати антикорозійний захист, механічну міцність та надійність експлуатації обладнання та металоконструкцій.

Відповідно до вимог міжнародних нормативних документів (ІМО, SOLAS, класифікаційні товариства), стан захисних покриттів обладнання водного транспорту підлягає регулярному контролю, що обумовлює необхідність підвищення їх ресурсу та функціональних властивостей [1, 2].



Одним із перспективних підходів є модифікація полімерних зв'язуючих нанорозмірними добавками, які здатні суттєво покращити фізико-механічні характеристики матеріалів [3].

Для забезпечення вищенаведених вимог до надійності обладнання водного транспорту та металоконструкцій об'єктів критичної інфраструктури розроблено епоксидні композиційні матеріали, модифіковані нанодисперсною фулерено-сажовою сумішшю, що характеризується високою питомою поверхнею та реакційною здатністю до взаємодії з полімерним зв'язувачем. Досліджено вплив вмісту нанонаповнювача (0,010–0,100 мас.%) на адгезійну міцність, залишкові напруження та ударну в'язкість покриттів. Експериментально доведено, що введення нанодобавки у кількості 0,025–0,075 мас.% забезпечує:

- підвищення адгезійної міцності у 1,3–1,5 рази;
- зниження залишкових напружень у 1,4–1,5 рази;
- підвищення ударної в'язкості у 2,0–2,1 рази.

Покращення властивостей пояснюється формуванням додаткових фізико-хімічних зв'язків у системі «полімер–наночастка–металева основа» та рівномірним розподілом добавки у полімері. При перевищенні оптимального вмісту наночастинок спостерігали їх агломерацію, що призводить до погіршення експлуатаційних характеристик розроблених полімерних покриттів.

Отримані результати можуть бути використані при створенні багатофункціональних полімерних покриттів для ремонту та відновлення елементів критичної інфраструктури, зокрема трубопроводів, суднового обладнання та функціональних поверхонь, що є важливим у контексті післявоєнної відбудови України.

Публікація містить результати досліджень, що фінансувалися у рамках іменної стипендії Верховної Ради України для молодих учених – докторів наук за 2025 рік (Постанова Верховної Ради України від 21 серпня 2025 року № 4583-IX).

ЛІТЕРАТУРА

[1] International maritime organization IMO. RESOLUTION A.744(18) [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.744\(18\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.744(18).pdf)

[2] SOLAS (Safety of Life at Sea) Consolidated Edition, 2020. <https://www.samgongustofa.is/media/english/SOLAS-2020-Consolidated-Edition.pdf>

[3] Li H., Zhang Q.-H., Meng X.-Z., et al. A novel cerium organic network modified graphene oxide prepared multifunctional waterborne epoxy-based coating



with excellent mechanical and passive/active anti-corrosion properties, Chem. Eng. J. 2023. 465, 142997. DOI:[10.1016/j.cej.2023.142997](https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.142997)

УДК 667.64:678.026

*Анна САПРОНОВА,
PhD, старший науковий співробітник,
Херсонська державна морська академія, м. Херсон*

МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ РІШЕННЯ У ПІСЛЯВОЄННОМУ ВІДНОВЛЕННІ ХЕРСОНЩИНИ

Післявоєнне відновлення Херсонської області потребує застосування високоефективних матеріалознавчих рішень для відновлення критичної інфраструктури, зокрема мостових переходів, портових споруд, гідротехнічних об'єктів та елементів судноплавної системи. Умови експлуатації цих конструкцій характеризуються підвищеною вологістю (до 85...100%), високою концентрацією хлорид-іонів у водному середовищі (до 3,5% у морській воді), значними циклічними температурними коливаннями (від -20 до $+40$ °C) та інтенсивними динамічними навантаженнями. Це створює умови для прискореної електрохімічної корозії сталевих елементів із середньою швидкістю втрати металу до 0,1...0,3 мм/рік у незахищених конструкціях. За таких умов традиційні лакофарбові системи на основі алкідних або акрилових смол не забезпечують достатнього рівня захисту через низьку адгезійну міцність (5...8 МПа) та обмежену водостійкість (проникність води до 60...80 г/м²·добу), що призводить до швидкої деградації покриттів упродовж 1...3 років експлуатації. Тоді, як епоксидні полімерні покриття характеризуються вищими експлуатаційними характеристиками, зокрема: адгезійна міцність до сталі – 15...35 МПа, межа міцності при згинанні – 70...90 МПа, ударна вязкість – 10...14 кДж/м², водопоглинання не більше 0,5...2%, а також високу хімічну стійкість до дії хлоридів і лугів. Додаткове модифікування епоксидних систем нанодисперсними наповнювачами (вуглецеві наночастинки, фулерени, сажа, SiO₂) дозволяє підвищити ударну в'язкість композиту на 20...40%, збільшити тріщиностійкість у 1,5...2 рази та зменшити коефіцієнт дифузії води до рівня 10^{-12} ... 10^{-13} м²/с. Такі матеріали демонструють підвищену довговічність у морському середовищі без капітального відновлення. Особливо ефективними епоксидні наноккомпозити є для захисту металевих конструкцій мостів і портових споруд, де вони забезпечують зниження швидкості корозії сталі до 0,005...0,01 мм/рік, що у 20...30 разів менше порівняно з незахищеними поверхнями. Для залізобетонних конструкцій такі покриття знижують



проникність хлоридів у бетон у 3...5 рази, що суттєво уповільнює корозію арматури.

У контексті відновлення критичної інфраструктури Херсонщини важливим є також застосування багатошарових епоксидних систем (primer–intermediate–topcoat), загальною товщиною 200...500 мкм, що забезпечує комплексний бар'єрний та катодний захист. При цьому ресурс таких систем у морських умовах у 2...3 рази перевищує показники традиційних покриттів.

Умови післявоєнної реконструкції Херсонської області, зокрема відновлення Антонівського мосту та портової інфраструктури, вимагають застосування саме таких високоміцних епоксидних систем, здатних працювати в умовах агресивного морського середовища, динамічних навантажень і прискореної корозії. Їх використання дозволяє знизити експлуатаційні витрати на 30...50%, скоротити частоту ремонтних робіт у 2...4 рази та підвищити загальний ресурс роботи інфраструктурних об'єктів.

Таким чином, епоксидні та полімерні покриття є ключовим матеріалознавчим рішенням для післявоєнного відновлення Херсонщини, оскільки забезпечують поєднання високої механічної міцності, корозійної стійкості та довговічності, а також дозволяють реалізувати економічно ефективну модель реконструкції критичної інфраструктури регіону.

Роботу виконано за рахунок коштів гранту Президента України, наданого Національним фондом досліджень України («Створення полімерних покриттів призначених для захисту і післявоєнного відновлення поверхонь промислових об'єктів та інженерних споруд». Реєстраційний номер проєкту 2025.05/0003).

УДК 621.762

І.А. СЕЛІВЕРСТОВ,

кандидат технічних наук,

доцент кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки

Херсонський національний технічний університет, м. Хмельницький

І.В. СМІРНОВ,

доктор технічних наук,

професор кафедри зварювального виробництва

НТУУ «КПІ» ім І Сікорського, м. Київ



СТВОРЕННЯ НОВИХ 3D-КОМПОЗИТІВ СПОНГІН-ТИТАН МЕТОДОМ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО (ВАКУУМНО-ДУГОВОГО) ОСАДЖЕННЯ

Для людей і науковців, які безпосередньо не займаються спонгологією (вивченням губок як живих організмів), згадка про « морську губку » одразу викликає образ відомого біоматеріалу, який використовується переважно в косметичних цілях. Ці морські губки для ванн, які можна знайти в різних формах і розмірах, насправді є децелюляризованими 3D-скелетами самих губок, спочатку очищених механічно та хімічно.

Згідно з сучасним поглядом, стратегії створення нових каркасних структур включають технології використання 3D-конструкцій з морського спонгину та технологій нанесення покриттів.

Дослідження взаємодії іонів металів та самих металів у різних нанофазних формах з матрицями спонгину видаються затребуваними з наступних причин. По-перше, іони металів, такі як ртуть [1] або мідь [2], які часто зустрічаються у високотоксичних стічних водах, активно взаємодіють з поверхнею спонгину, утворюючи комплекси та наноструктуровані композити з каталітичними властивостями [2, 3].

Нещодавні дослідження процесу металізації спонгину призвели до створення унікальних 3D-комполітів « залізо-спонгін », що містять лепідокроцит ($\gamma\text{-FeO(OH)}$). Ці композити були отримані двома методами: біоміметичним та екстремальним біоміметичним, і демонструють високу здатність виявляти дофамін та триптофан [4, 5, 6]. Крім того, шляхом плавлення сталі при 1450–1600 °C на початково карбонізованих каркасах спонгину *H. communis* при 1200 °C нещодавно були отримані нові магнітні 3D-матеріали на основі спонгину [7]. Розробка магнітних губок з використанням природних каркасів спонгину є дуже важливим напрямком та чіткою альтернативою багатьом синтетичним аналогам, які вже знайшли застосування в контрольованій доставці ліків [7], вимірюванні сили, зборі енергії [8], ремедіації [9] та тканинній інженерії [10].

Аерокосмічна промисловість, хімічна обробка та медицина є основними споживачами титану у формі пористих структур. Так звана « титанова губка » являє собою форму пористих агломерованих порошкових частинок [11]. Слід одразу зазначити, що в класичному розумінні « титанова губка » суттєво відрізняється від скелетів на основі спонгину комерційних губок. Однак, наприклад, титанові піни, завдяки своїй механічній міцності, стійкості до корозії, біосумісності та біоактивності, вже знайшли різноманітне ортопедичне та стоматологічне застосування [12, 13, 14, 15]. Також нещодавно в ендопротезування колінного та кульшового суглобів були впроваджені



високопористі титанові імплантати, надруковані за допомогою 3D-принтера [16]. Пористість титанових структур для біомедичних цілей є важливим фактором. Наприклад, як повідомляють автори роботи [17], остеобласти людини можуть добре рости завдяки взаємопов'язаній пористості титанової піни

З огляду на вищезазначені факти, ідея покриття готових до використання каркасів 3Dspingin, вкритих титановими наночастинками, таким чином, щоб зберегти саму скелетну архітектуру є актуальною. Залишалось відкритим питання, чи витримає спонгін як біоматеріал специфічні умови, за яких відбуватиметься осадження наночастинок титану. На сьогоднішній день розроблено широкий спектр методів осадження металевих покриттів, серед яких чільне місце займають методи фізичного осадження з парової фази (PVD) [18]. Найпоширенішим методом PVD є магнетронне розпилення, яке, незважаючи на свої переваги, демонструє відносно низькі швидкості осадження, особливо при застосуванні до таких матеріалів, як Ti, Mo або Si, і тому використовується переважно для отримання тонких плівок. З технологічної та конструкторської точок зору перспективною альтернативою є метод іонно-плазмового (вакуумно-дугового) осадження [19]. Цей метод дозволяє формувати щільні, однорідні покриття практично з будь-якого металу або сплаву з міцною адгезією до підкладки, що пояснюється високим ступенем іонізації продуктів ерозії катода.

Титан було обрано як матеріал катода через його високу хімічну реакційну здатність, що дозволяє йому змочувати неметалеві та керамічні поверхні, включаючи карбонізовані. Катод, виготовлений з цього покривного матеріалу, еродує за допомогою вакуумної дуги, що забезпечує високу швидкість осадження на різних типах поверхонь [20]. Цей специфічний метод та відповідне обладнання були використані для металізації 3D-каркасів спонгину з губки для ванн *H. communis*, з більш детальним описом у [21].

Отже, експерименти вперше демонструють можливість металізації спонгину титаном за допомогою дуже жорсткого методу іонно-плазмового осадження. Біоматеріал спонгину в атмосфері аргону витримував струм дуги 100 ампер та напругу дуги 70 вольт під час розпилення наночастинками титану протягом 5 та 10 хвилин без суттєвих змін у 3D-архітектурі каркасу. Однак спостерігалася втрата маси (Δm) від 0,01 до 0,1 г, залежно від розміру зразка.

В результаті металізації поверхня волокон спонгину була покрита однорідною титановою плівкою. Цікаво, що товщина цього шару, покритого титаном, сягає 500 нм, що відповідає так званому кутикулярному шару волокон спонгину [22, 23].

Логічно припустити, що тепер, після створення 3D-композитного матеріалу спонгін-титан, необхідно буде детально вивчити його фізико-



механічні властивості, враховуючи перспективи практичного застосування в біомедицині, подібно до вже добре перевірених пористих титанових імплантатів. Титан також може служити проміжним шаром для нанесення функціонального шару покриття з різних металів, включаючи Ni, Ag та Au [24, 25]. Отже, металізовані спонгінкові каркаси також можуть знайти застосування в різних галузях техніки та технологій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Domingues, E.M.; Gonçalves, G.; Henriques, B.; Pereira, E.; Marques, P.A.A.P. High affinity of 3D spongin scaffold towards Hg(II) in real waters. *J. Hazard. Mater.* **2021**, *407*, 124807. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
2. Tsurkan, D.; Simon, P.; Schimpf, C.; Motylenko, M.; Rafaja, D.; Roth, F.; Inosov, D.; Makarova, A.A.; Stepniak, I.; Petrenko, I.; et al. Extreme Biomimetics: Designing of the first nanostructured 3D spongin-atacamite composite and its application. *Adv. Mater.* **2021**, *33*, 2101682. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
3. Tsurkan, D.; Simon, P.; Schimpf, C.; Motylenko, M.; Rafaja, D.; Roth, F.; Inosov, D.; Makarova, A.A.; Stepniak, I.; Petrenko, I.; et al. Extreme Biomimetics: Designing of the first nanostructured 3D spongin-atacamite composite and its application. *Adv. Mater.* **2021**, *33*, 2101682. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
4. Kubiak, A.; Pajewska-Szmyt, M.; Kotula, M.; Leśniewski, B.; Voronkina, A.; Rahimi, P.; Falahi, S.; Heimler, K.; Rogoll, A.; Vogt, C.; et al. Spongin as a Unique 3D Template for the Development of Functional Iron-Based Composites Using Biomimetic Approach In Vitro. *Mar. Drugs* **2023**, *21*, 460. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
5. Kubiak, A.; Kotula, M.; Leśniewski, B.; Pajewska-Szmyt, M. Iron-sponges Interrelations: From Biocorrosion to Nanostructured Biocomposites. *Lett. Appl. NanoBioSci* **2022**, *12*, 64. [[Google Scholar](#)]
6. Leśniewski, B.; Kopani, M.; Szczurek, A.; Matczak, M.; Dubowik, J.; Kotula, M.; Kubiak, A.; Tsurkan, D.; Romańczuk-Ruszek, E.; Nowicki, M.; et al. Development of Magnetic Sponges Using Steel Melting on 3D Carbonized Spongin Scaffolds Under Extreme Biomimetics Conditions. *Biomimetics* **2025**, *10*, 350. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Shademani, A. Magnetic Sponges for Localized and Controlled Drug Delivery with Drug Combination Therapy. Ph.D. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, 2021. [[Google Scholar](#)]
8. Li, H.; Kim, I.; Goh, T.S.; Lee, J.I.; Kim, D. Multimodal magnetic sponge-based triboelectric nanogenerator for energy harvesting, force sensing, and controlled drug delivery. *Nano Energy* **2025**, *138*, 110899. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]



9. Öztürk, E.E.; Gürsoy, S.; Bakırdere, S. Equilibrium modelling and kinetic studies on adsorption of cadmium from lake water by a magnetic covalent organic framework. *Sci. Rep.* 2026, 16, 4838. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
10. Giannelli, M.; Barbalinardo, M.; Riminucci, A.; Belvedere, K.; Boccalon, E.; Sotgiu, G.; Corticelli, F.; Ruani, G.; Zamboni, R.; Aluigi, A.; et al. Magnetic keratin/hydroxycalcite sponges as potential scaffolds for tissue regeneration. *Appl. Clay Sci.* 2021, 207, 106090. [Google Scholar] [CrossRef]
11. Nagesh, C.R.V.S.; Brahmendra Kumar, G.V.S.; Saha, B.; Gokhale, A.A. Titanium Sponge Production and Processing for Aerospace Applications. In *Aerospace Materials and Material Technologies*; Prasad, N., Wanhill, R., Eds.; Springer: Singapore, 2017; pp. 73–89, Indian Institute of Metals Series. [Google Scholar]
12. Barthes, J.; Cazzola, M.; Muller, C.; Dollinger, C.; Debry, C.; Ferraris, S.; Spriano, S.; Vrana, N.E. Controlling Porous Titanium/Soft Tissue Interactions with an Innovative Surface Chemical Treatment: Responses of Macrophages and Fibroblasts. *Mater. Sci. Eng. C* 2020, 112, 110845. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
13. Marin, E.; Lanzutti, A. Biomedical Applications of Titanium Alloys: A Comprehensive Review. *Materials* 2024, 17, 114. [Google Scholar] [CrossRef]
14. Yadav, M.K.; Yarlapati, A.; Aditya, Y.N.; Kesavan, P.; Pandey, V.; Perugu, C.S.; Nain, A.; Chatterjee, K.; Suwas, S.; Jayaraj, J.; et al. Processing and Development of Porous Titanium for Biomedical Applications: A Comprehensive Review. *J. Manuf. Mater. Process* 2025, 9, 401. [Google Scholar] [CrossRef]
15. Ho, K.; Shiba, T.; Chen, C.Y.; Kim, D.M. Plasma Treatment to Remove Titanium Surface Contaminants and Improve Implant Biocompatibility: An In Vitro Study. *Biomimetics* 2025, 10, 571. [Google Scholar] [CrossRef]
16. Tigani, D.; Lamattina, L.; Puteo, N.; Donadono, C.; Banci, L.; Colombo, M.; Pizzo, A.; Assenza, A. Novel Clinical Applications of 3D-Printed Highly Porous Titanium for Off-the-Shelf Cementless Joint Replacement Prostheses. *Biomimetics* 2025, 10, 634. [Google Scholar] [CrossRef]
17. Müller, U.; Imwinkelried, T.; Horst, M.; Sievers, M.; Graf-Hausner, U. Do Human Osteoblasts Grow into Open-Porous Titanium? *Eur. Cell Mater.* 2006, 11, 8–15. [Google Scholar] [CrossRef]
18. Ichou, H.; Arrousse, N.; Berdimurodov, E.; Aliev, N. Exploring the Advancements in Physical Vapor Deposition Coating: A Review. *J. Bio Tribocorros* 2024, 10, 3. [Google Scholar] [CrossRef]
19. Roy, A.; Wang, S.; Komvopoulos, K. A Review of Plasma-Assisted Deposition Methods for Amorphous Carbon Thin and Ultrathin Films with a Focus on the Cathodic Vacuum Arc Technique. *J. Mater. Res.* 2023, 38, 586–616. [Google Scholar] [CrossRef]



20. Straumal, B.; Gust, W.; Vershinin, N.; Dimitriou, R.; Rabkin, E. Vacuum Arc Deposition of Ti Coatings. Surf. Coat. Technol. 2000, 125, 157–160. [Google Scholar] [CrossRef]
21. Smirnov, I.V.; Furman, V.K.; Chorny, A.V.; Dolgov, N.A.; Andreytsev, A.Y. Nanostructured PVD Film-Coated Alumina Powders for Thermal Spraying Technologies. In Proceedings of the 7th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties (NAP), Zatoka, Ukraine, 10–15 September 2017; IEEE: New York, NY, USA; p. 01FNC04-1. [Google Scholar]
22. Garrone, R. Nature, Genèse et Fonctions Des Formations Conjonctives Chez Les Spongiaires. Ph.D. Thesis, Université Claude Bernard, Lyon, France, 1975. [Google Scholar]
23. Vacelet, J.; Verdenal, B.; Perinet, G. The Iron Mineralization of Spongia officinalis L. (Porifera, Dictyoceratida) and Its Relationships with the Collagen Skeleton. Biol. Cell 1988, 62, 189–198. [Google Scholar] [CrossRef]
24. Wojcieszak, D.; Mazur, M.; Kalisz, M.; Grobelny, M. Influence of Cu, Au and Ag on Structural and Surface Properties of Bioactive Coatings Based on Titanium. Mater. Sci. Eng. C 2017, 71, 1115–1121. [Google Scholar] [CrossRef]
25. Lukose, C.C.; Anastopoulos, I.; Panagiotidis, I.S.; Zoppi, G.; Black, A.M.; Dover, L.G.; Bowen, L.; Serrano-Aroca, Á.; Liu, T.X.; Mendola, L.; et al. Biocompatible Ti3Au–Ag/Cu Thin Film Coatings with Enhanced Mechanical and Antimicrobial Functionality. Biomater. Res. 2023, 27, 93. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

УДК 621.313.322:629.5

Світлана СЄЛІВЕРСТОВА

кандидат технічних наук, доцент

Михайло ОГЛОБЛІН

здобувач вищої освіти 1 курсу

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ СУХОВАНТАЖНИХ СУДЕН

Південний регіон України має особливе значення відносно розвитку морського та річного транспорту. Теперішній стан судноходства та повоєнний план його відновлення вимагають обґрунтованого підходу до аналізу енергоефективності парку суден. Сучасні вимоги, що до економічності і надійності суднової електроенергетичної системи (СЕЕС) суховантажних



універсальних суден, базуються на застосуванні автоматизації СЕЕС з використанням пристроїв і систем регулювання, управління, контролю і захисту. У складі пропульсивної системи судна має бути автономне (альтернативне) джерело живлення, яке може забезпечити життєдіяльність судна в різних умовах. Традиційний склад СЕЕС має базою дизель-генераторні установки. Однак, видобуток електроенергії тільки дизель-генераторами, не завжди є економічним. Одним з варіантів є використання валогенераторної (ВГ) установки в пропульсивній системі та системі енергозабезпечення судна. Актуальність питання технічної експлуатації валогенераторної установки у складі пропульсивного комплексу судна є безумовною.

В сучасних суднових електроенергетичних системах більшу перевагу надають турбо- та дизельгенераторам (ДГ) [1]. Валогенератори мають наступні переваги перед дизель-генераторами: менші габарити, низька початкова вартість, низькі витрати на монтаж і на обслуговування, великий термін служби і низький рівень шуму. Використання ВГ в різних режимах експлуатації: автономному, паралельно з дизельгенераторами, генераторному та реверсному (руховому) режимах розширюють можливості їх застосування.

У ходовому режимі головний двигун уже працює, але електричне навантаження судна часто й далі покривається окремими ДГ. За таких умов частина механічної потужності головного двигуна може бути використана для живлення суднової мережі через валогенераторну установку [2, 4]. Саме тому питання енергоефективності тут пов'язане не лише з вибором джерела електроенергії, а й із загальною схемою роботи суднової енергосистеми.

Паливна доцільність такої схеми пов'язана з тим, що в морі електроенергія виробляється не окремим допоміжним двигуном, а за рахунок уже працюючого головного двигуна. Як базу для порівняння доцільно використовувати характеристики типової дизель-генераторної установки [1]. Головний двигун, особливо малообертний, у сталому ходовому режимі зазвичай працює ефективніше, тому при перенесенні частини електричного навантаження з допоміжного ДГ на валогенератор змінюється саме джерело енергії на більш вигідне в експлуатаційному сенсі [3, 5]. Для окремих рішень наводиться економія до 20-30 %, а строк окупності оцінюється в межах 2–4 років, проте такі значення не можна переносити на будь-яке судно без окремого розрахунку.

Основним недоліком валогенераторних систем відбору потужності є залежність їх роботи від швидкості руху судна. При застосуванні ВГ зміна швидкості руху судна, тобто зміна частоти обертання гребного валу, безпосередньо пов'язана із зміною частоти обертання генератора, внаслідок чого вихідні параметри валогенераторів - напруга і частота струму можуть безперервно змінюватись. Оптимальним, не потребуючим додаткових



капіталовкладень, є режим використання ВГ з гвинтом рерульованого кроку (ГРК). Однак, це обмежує діапазон використання ВГ установок.

Стабілізувати вихідні параметри валогенераторів і поліпшити умови їх роботи можна застосуванням спеціальних перетворювачів електроенергії або пристроїв, що забезпечують постійну частоту обертання генераторів, незважаючи на змінну частоту обертання гребного валу. У якості таких використовуються частотні перетворювачі (ЧП) різної комплектації, в залежності від зазначених вимог. Частотні перетворювачі нового покоління на IGBT – транзисторах, забезпечують можливість роботи генераторних установок великої потужності. Стабільність їх параметрів забезпечується додатковою системою охолодження. У складі валогенераторної установки застосовують частотний перетворювач на базі IGBT-транзисторів за схемою подвійного перетворення АС–DC–АС [4, 5]. Така схема містить блок випрямляча, ланку постійного струму та ШІМ-інвертор. Випрямляч переводить змінну напругу від валогенератора в постійну, ланка постійного струму виконує роль енергетичного буфера, а інвертор формує нову трифазну напругу із заданими параметрами частоти та амплітуди [4, 5]. Саме тут відбувається розв'язка між несталим механічним приводом і сталою судновою мережею. Без такого вузла валогенератор ефективний лише в обмеженому діапазоні режимів, тоді як із частотним перетворювачем система стає придатною до повноцінної роботи в ходових умовах зі змінною швидкістю.

Обґрунтовано доцільність застосування валогенератора з частотним перетворювачем для підвищення енергоефективності суднової електроенергетичної системи. Основна увага приділено фізичній причині нестабільності параметрів валогенератора, ролі перетворювача у стабілізації електроживлення та факторам, від яких реально залежить економічний ефект.

ЛІТЕРАТУРА

1. DIESEL GENERATOR SET LC5014F. Colorado: Cat Electric Power, 2014. 5 р.
2. Піпченко О. М. Електрообладнання, електронна апаратура та системи управління: навч. посіб. Одеса : ОНМА, 2005. 370 с.
3. Schøyen H., Sow H. A decision making tool concerning retrofit of shaft generator frequency converter. Ocean Engineering. 2015. Vol. 109. P. 103–112.
4. ABB. Geared shaft generators.
5. Wärtsilä. Shaft Generator Systems.



УДК 656.02

В'ячеслав СЛАВИЧ

к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу, Херсонський національний технічний університет

Костянтин БАБІЙЧУК

студент кафедри транспортних систем і технічного сервісу, Херсонський національний технічний університет

БАГАТОПРОДУКТОВІ ТРАНСПОРТНІ ЗАДАЧІ У ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Сучасні логістичні системи функціонують в умовах зростаючої складності транспортних процесів, багаторівневої організації ланцюгів постачання та необхідності оперативного управління матеріальними потоками. У таких умовах особливого значення набуває оптимізація перевезень, спрямована на зниження транспортних витрат, раціональне використання рухомого складу та забезпечення своєчасного постачання продукції споживачам.

Одним із ключових напрямів розвитку дослідження операцій у транспортно-логістичних системах є багатопродуктові транспортні задачі. На відміну від класичних моделей, які, як правило, орієнтовані на перевезення однорідного вантажу, реальні умови господарської діяльності передбачають роботу з широкою номенклатурою продукції, що відрізняється за призначенням, фізичними характеристиками, умовами зберігання та кінцевими пунктами доставки.

Особливої актуальності набувають задачі, у яких транспортний процес має багаторівневу структуру та включає проміжні логістичні пункти. До таких пунктів можуть належати склади, розподільчі центри, сортувальні станції, елеватори, логістичні термінали та інші вузли транспортної мережі. Саме на цьому етапі часто відбувається формування окремих товарних потоків для подальшого адресного постачання.

У практиці логістики досить поширеними є ситуації, коли вантаж транспортується на початковому етапі в агрегованому вигляді, без попереднього поділу на окремі категорії. Подальша деталізація здійснюється вже у проміжних пунктах відповідно до структури попиту споживачів. Такий підхід характерний для торговельної логістики, агропромислових перевезень, систем поводження з відходами, фармацевтичної дистрибуції та інших галузей.

Наприклад, у сфері роздрібною торгівлі товар може надходити до розподільчого центру єдиною партією, після чого відбувається його сортування



за товарними групами для різних магазинів. В аграрному секторі сировина транспортується як єдиний потік, а на проміжних вузлах проходить розподіл за якісними характеристиками або напрямками подальшого використання. У логістиці вторинної сировини змішані матеріали доставляються до сортувальних комплексів, де поділяються на окремі фракції для подальшого транспортування. Аналогічні процеси спостерігаються у фармацевтичній та промисловій логістиці, де консолідовані вантажі проходять етап внутрішнього розподілу на складах дистрибуції.

Зазначені особливості свідчать про необхідність розвитку транспортних моделей, здатних описувати процеси формування багатокомпонентних потоків не лише на початковому, а й на проміжному етапі логістичного ланцюга. Такий підхід дозволяє значно точніше відобразити реальні умови функціонування сучасних транспортно-логістичних систем та підвищити ефективність управлінських рішень.

Важливою особливістю багатопродуктових транспортних задач у логістичних системах є необхідність одночасного врахування декількох взаємопов'язаних факторів: структури попиту, пропускнуєї спроможності проміжних логістичних вузлів, обмежень рухомого складу та вартості перевезень на різних ділянках транспортної мережі. Саме комплексний характер таких задач зумовлює потребу у використанні сучасних методів математичного моделювання та оптимізації, здатних забезпечити прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Особливу практичну цінність мають підходи, які дозволяють адаптувати транспортні моделі до реальних умов функціонування логістичних центрів, де вантажопотоки можуть змінювати свою структуру в процесі переміщення. Це створює передумови для більш точного планування маршрутів, раціонального використання складської інфраструктури, зниження непродуктивних пробігів та підвищення ефективності розподілу ресурсів між окремими споживачами.

Запропонований напрям дослідження є перспективним для застосування у транспортних системах торговельних мереж, агропромислових підприємств, логістичних операторів та мультимодальних центрів, де від ефективності управління потоками безпосередньо залежать економічні результати діяльності. Подальший розвиток даної тематики доцільно спрямувати на формування математичного апарату для опису процесів трансформації вантажопотоків та розробку алгоритмів оптимізації, придатних для практичного використання в інформаційно-аналітичних системах логістичного управління.

Таким чином, багатопродуктові транспортні задачі з урахуванням проміжних логістичних пунктів становлять актуальний напрям сучасних досліджень у сфері транспортної логістики. Їх подальше вивчення сприятиме підвищенню ефективності транспортних процесів, удосконаленню методів



планування перевезень та розвитку нових підходів до оптимізації логістичних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lienkamp B., Schiffer M. Column generation for solving large scale multi-commodity flow problems for passenger transportation. *European Journal of Operational Research*. 2024. Vol. 314, Issue 2. P. 703-717.
2. Abdelati M.H. et al. Solving a multi-objective solid transportation problem: a comparative study. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2023. Vol. 70, 82.
3. Fernández E., Ljubić I., Zerega N. The multi-commodity flow problem with outsourcing decisions // *Transportation Research Part B*. 2025. Vol. 201, 103333.
4. Crainic T.G. et al. A multi-commodity network flow model for sustainable city logistics. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Issue 6. 2180
5. Slavych V. P., Biloushchenko D. Yu. Model of the transport problem in the case of cargo delivery by two different types of vehicles. *Науковий вісник ХДМА*. 2025. №31. С.178 –186.
6. Mathematical and information model of a special type of transport task as a tool for increasing the economic efficiency of freight transportation: «Штучний інтелект як інструмент захисту економіки від дезінформації: інноваційні рішення та міжнародні практики»: колективна монографія / Славич В.П. та ін., 2025.
7. Славич В.П., Добрава К.Д. Модель та метод знаходження опорного та оптимальних планів модифікованої транспортної задачі у випадку групування постачальників вантажу. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2020. № 1. С. 187–193.
8. Славич В.П., Єльник В.В. Оптимізація процесу доставки вантажу газопостачального підприємства. *Вісник ХНТУ*. 2023. № 2 (85). С. 84 – 89.

УДК 667.64:678.026

Віталій СОЦЕНКО,

PhD, доцент,

Владислав СТРЕЛЬЧЕНКО,

аспірант,

Петро ФОСТИК,

аспірант,

Херсонська державна морська академія, м. Херсон



НОВІТНІ ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИТИ ДЛЯ ГАЗО- НАФТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Найбільш затребуваними на сьогодні є композити на основі пластифікованих епоксидних смол, до складу яких додають дрібнодисперсні наповнювачі. Подібні матеріали здатні забезпечити надійний захист від гідроабразивного руйнування та корозії, а також підвищену стійкість до кавітації й міцність при контакті з хімічно активними речовинами. У цьому аспекті велике значення має використання композитів, армованих скляними, вуглецевими або базальтовими тканинами, які демонструють незначну повзучість під тривалим навантаженням.

Дослідження [1, 2] показали, що вуглецеві тканини в епоксидних пластиках підвищують питому міцність і жорсткість, знижуючи повзучість як на повітрі, так і в агресивних умовах. Базальтові тканини створюють у композитах стійку до хімічних впливів сітку, сприяючи зменшенню залишкових напружень. Скляні тканини формують армуючий каркас, що перешкоджає зародженню й розвитку тріщин, запобігаючи втомі матеріалу при навантаженнях.

Композитні матеріали (КМ) формували на основі пластифікованої епоксидної матриці. З метою поліпшення реологічних і механічних властивостей КМ у епоксидний олігомер (100 %) необхідно вводити пластифікатор у вигляді ДЕГ-1 (12 %). Полімеризувати композицію слід твердником ПЕПА у кількості 12 %. Для покращення когезійних властивостей КМ у епоксидний зв'язувач необхідно вводити нанотрубки або мікродисперсні частки оксиду хрому. При цьому визначено оптимальний вміст даних добавок у матриці: 0,05 та 15 мас.% відповідно. Тому надалі досліджували механічні властивості армованих КМ на основі пластифікованої і наповненої за оптимального вмісту добавок епоксидної композиції.

У загальному виявлено значне покращення властивостей армованих композитів при модифікації епоксидного зв'язувача нанотрубками та оксидом хрому порівняно з базовою пластифікованою матрицею. Підтвердженням цього є те, що густина армованих КМ зростає від 1,7 г/см³ до 1,9 г/см³, що пов'язано з додатковим уведенням наповнювачів у зв'язувач. Також встановлено підвищення показників твердості від 89 до 93 одиниць у модифікованих композитів. Особливо відзначимо суттєве підвищення показників ударної в'язкості: від 122 кДж/м² до 184 кДж/м², що відповідає зростанню на 50,8%.

Додатково виявлено підвищення показників когезійної міцності матеріалів на основі наповнених дисперсними частками армованих композитів. Зокрема, при застосуванні дисперсних порошків модуль пружності збільшується від 34 ГПа до 46 ГПа, що свідчить про підвищення жорсткості на



35,3%. Руйнівні напруження при згині збільшуються від 678 МПа до 842 МПа. Значення руйнівних напружень при розтягу збільшуються від 448 МПа до 507 МПа.

Поліпшення механічних властивостей композитів при введенні нанотрубок полягає в їх здатності створювати міцну тривимірну армуючу сітку всередині полімерної матриці, що значно підвищує міцність і жорсткість. У такому випадку нанотрубки ефективно перешкоджають розповсюдженню мікротріщин, виступаючи як «мости» між шарами армованого композиту, що особливо позитивно впливає на ударну в'язкість матеріалу. Позитивний вплив оксиду хрому як наповнювача полягає у підвищенні твердості полімерного матеріалу внаслідок його кращої адгезії до шарів тканин.

Відзначимо вищу ефективність впливу нанотрубок на механічні властивості армованих композитів порівняно з оксидом хрому. На наш погляд, це зумовлено їх великим співвідношенням довжини до діаметра та високими показниками міцності, що дозволяє створювати при полімеризації більш міцну структуру матриці, яка виконує функцію клеючого матеріалу. Оптимальне співвідношення усіх досліджуваних властивостей доводить перевагу використання нанотрубок для модифікації матриці при формуванні гібридних композитів, призначених для експлуатації в критичних умовах. Отже, введення нанотрубок в пластифіковану епоксидну матрицю є ефективним методом суттєвого підвищення механічних характеристик композитних матеріалів для водного транспорту.

Роботу виконано за фінансової підтримки гранту Національного фонду досліджень України («Підвищення надійності обладнання газо-нафтотранспортного комплексу шляхом впровадження алгоритмів діагностування їх технічного стану та застосування новітніх полімерних матеріалів». Реєстраційний номер проєкту 2025.07/0008).

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Kumar, R., Münstedt, H.: Silver ion release from antimicrobial polyamide/silver composites. *Biomaterials*. 2005. 26(14), 2081-2088.
- [2] Dastjerdi, R., Montazer, M.: A review on the application of inorganic nanostructured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2010. 79 (1), 5-18.
- [3] Buketov A.V., Dyadyura K., Strelchenko V.Yu., Shulga Yu.M., Kulinich S.O., Hrebenyk L., Kindrachuk M.V. Sustainable Transport Reliability: Exploring the Creep of Eco-Friendly Polymer Nanocomposites. *Journal of nano- and electronic physics*. 2023. 15 (4). 04004



[4] Buketov A.V., Shulga Yu.M., Strelchenko V.Yu., Sotsenko V.V. Improving the thermophysical properties of polymer composites. *Funct. Mater.* 2024. 31 (4): 546-556.

[5] Johansen, K., Larsen, M., Andersen, P., Eide, S., Pedersen, T.: HybridProp: Advanced Composite Coatings for Marine Propellers Combining Bronze and Carbon/Glass-Epoxy Composites. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2022. 10(4), 215-230.

УДК 667.64:678.026

Владислав ШАРАНОВ,
PhD,

*Дунайський інститут Національного університету
«Одеська морська академія», м. Ізмаїл,*

Олександр САПРОНОВ,

д.т.н., професор,

Херсонська державна морська академія, м. Херсон,

Денис ДАНИЛЕНКО,

аспірант,

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-РЕМОНТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ І ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Сучасний об'єктів критичної інфраструктури, зокрема портової інфраструктури, гідротехнічних споруд, енергетичних та логістичних систем, водного транспорту вимагає впровадження нових підходів до їх відновлення. Умови функціонування таких об'єктів характеризуються комплексним впливом агресивних факторів: циклічні навантаження, соляна корозія, кавітаційні процеси, біообростання, температурні коливання. Встановлено, що традиційні покриття на основі акрилових та масляних зв'язувачів не забезпечують достатнього рівня довготривалої стійкості в умовах впливу зовнішніх факторів. Їх основними недоліками є низька когезійна міцність, недостатня адгезія до металевих субстратів, а також висока проникність для іонів хлору, що прискорює електрохімічну корозію. Тоді, як епоксидні полімерні системи є більш перспективними завдяки наявності реакційноздатних епоксидних, гідроксильних та ефірних груп. Ці функціональні фрагменти забезпечують



утворення щільної тривимірної сітки після полімеризації, що підвищує механічну міцність, хімічну стійкість і адгезію до металевих поверхонь [1].

Експериментально доведено, що введення нанодисперсних наповнювачів, зокрема фулерено-сажових структур, дозволяє суттєво змінювати фізико-механічні характеристики полімерної матриці. Такі нанодобавки здатні формувати додаткові енергетичні бар'єри для розвитку мікротріщин, підвищувати модуль пружності, ударну в'язкість та зносостійкість покриттів. Однак розроблення подібних матеріалів традиційними експериментальними методами є тривалим і економічно витратним процесом, оскільки потребує великої кількості випробувань та варіацій складу. У зв'язку з цим перспективним є застосування методів математичного моделювання та штучного інтелекту для прогнозування властивостей матеріалів ще на етапі проектування.

Для реалізації наведених положень застосовано підхід машинного навчання на основі штучних нейронних мереж, що дозволяє прогнозувати експлуатаційно-ремонтні характеристики полімерних матеріалів, наповнених нанодисперсним наповнювачем. Такий підхід дозволяє встановлювати складні нелінійні залежності між рецептурними параметрами матеріалу та його механічними характеристиками.

Експериментальною базою дослідження слугували дані випробувань ударної в'язкості композитів, отриманих відповідно до стандарту ASTM D6110–18. У якості вхідного параметра моделі використовувався вміст нанопоповнювача, тоді як вихідною змінною виступала ударна в'язкість як інтегральний показник тріщиностійкості матеріалу. Для побудови моделі застосовано багат шаровий перцептрон (MLP 1–19–1), який складається з одного вхідного шару, одного прихованого шару з 19 нейронами та одного вихідного шару. Така архітектура забезпечує достатню гнучкість для апроксимацію складних нелінійних залежностей без перенавчання моделі. У прихованому шарі використано тангенціальну функцію активації, яка забезпечує симетричне відображення даних та стабілізує процес градієнтного навчання. Вихідний шар реалізовано з логарифмічною функцією активації, що дозволяє коректно моделювати параметри з широким діапазоном значень та нелінійним розподілом.

Навчання нейронної мережі здійснювали за допомогою алгоритму Бroyдена–Флетчера–Гольдфарба–Шанно (BFGS), який належить до класу квазініютонівських методів оптимізації. Його перевагою є висока швидкість збіжності та стійкість до складних поверхонь функції втрат. Як функцію втрат використано суму квадратів помилок (SOS), що забезпечує чутливість моделі до відхилень та є стандартом для регресійних задач у матеріалознавстві.



$$SOS = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Для оцінки якості моделі додатково використано середню абсолютну процентну похибку (MAPE), яка дозволяє нормалізовано оцінити точність прогнозу незалежно від масштабу даних. Аналіз результатів показав, що введення нанодисперсної фулерено-сажової суміші у кількості 0,075 мас.ч. забезпечує оптимальне поєднання міцності та тріщиностійкості полімерної матриці. При цьому досягається максимальне значення ударної в'язкості на рівні 15,2 кДж/м², що є критично важливим параметром для захисних покриттів, які працюють в умовах динамічних навантажень морського середовища.

З точки зору застосування у відновленні об'єктів критичної інфраструктури, такі матеріали можуть бути використані для ремонту та захисту металевих конструкцій портів, гідротехнічних споруд, корпусів суден, трубопроводів, навігаційних систем і сенсорних комплексів. Їх впровадження дозволяє суттєво підвищити ресурс експлуатації обладнання, зменшити частоту ремонтних робіт та мінімізувати ризики аварійних відмов.

Публікація містить результати досліджень, що фінансувалися у рамках іменної стипендії Верховної Ради України для молодих учених – докторів наук за 2025 рік (Постанова Верховної Ради України від 21 серпня 2025 року № 4583-IX).

ЛІТЕРАТУРА

[1] Makhmetova A.R., Negim El-Sayed, Ainakulova D.T., Yeligbayeva G., Khatib J.M. An Overview of Epoxy Resins as coating to protect metals from corrosion. *Complex Use of Mineral Resources*. 2024. 328(1), 20-32. DOI: 10.31643/2024/6445.03